

«Зеленая» энергия для мегаполиса

Лена Брессер



По мере того как развитые страны перестраивают промышленный цикл, добиваясь резкого снижения выбросов в машиностроении, металлургии и других отраслях, в фокусе внимания оказывается транспорт: теперь он становится основным источником загрязнения окружающей среды. В числе альтернатив бензину и мазуту специалисты все чаще рассматривают водородное топливо.

В сентябре проект Blue Danube разместил заказ на производство водородных топливных элементов. Планируется, что все речные буксиры на Дунае будут работать только на водороде. Сумма заказа

составляет €5,85 млрд. Столь серьезная цифра еще несколько лет назад показалась бы невероятной, но в 2020-м мало кого удивляет. Вот еще несколько сентябрьских событий из водородной индустрии:

- В Великобритании испытали водородный поезд HydroFLEX, его коммерческое производство начнется в 2023-м;
- В небе над Соединенным Королевством полетел первый водородный самолет, способный перевозить пассажиров;
- Австрия заявила о готовности осуществить пробные пассажирские перевозки водородным поездом;
- В Глазго запущен проект Green Hydrogen, предусматривающий перевод на водород всего городского хозяйства, — к 2030-му Глазго собирается объявить об обнулении выбросов.

По состоянию на начало 2020 года около 69% автопарка города Москвы соответствовало экологическим классам 4, 5 и выше. В начале 2020 года автопарк столицы насчитывал 4 419 тыс. ед., из которых 90,3% — легковые, 8,7% — грузовые и легкие грузопассажирские машины, 1% — автобусы. В 2019 году по сравнению с 2018-м автопарк вырос на 0,9%, причем в 2018-м наблюдалось сокращение относительно периода годом ранее, в основном за счет легкового транспорта. Автопарк Московской области не прекращает рост, и в начале 2020 года он насчитывал 3 159 тыс. ед., из которых 88,6% — легковые автомобили.

Привлекательный и опасный

Речь идет о целом комплексе технологий, история которых началась не вчера. Водород открыт в 1766 году. Газ оказался невероятно горюч, и сразу появились идеи, а не использовать ли его вместо угля. Экологические соображения тогда мало кого волновали — привлекала возможность получить больше энергии из меньшего объема топлива. Уже в 1806 году Франсуа Исаак де Риваз

представляет первую водородную «телегу» — конструкцию длиной шесть метров и весом в тонну. Искра взрывала воздушно-водородную смесь, в результате чего двигался поршень, который заставлял вращаться колеса. Искру приходилось всякий раз создавать вручную, как только газовая смесь прогорала и поршень опускался.

Изобретателю было понятно, что это всего лишь прототип.

Но он предполагал, что доработки позволят вывести водородный двигатель в серию. Однако прямое, непосредственное использование водорода как топлива не задалось. Причин было несколько: это и высокая себестоимость собственно водорода, который получали с помощью электролиза воды, и опасность самого двигателя (по сути, машина ездил на постоянных взрывах).

В сентябре стало известно, что ученые Томского политехнического университета разработали технологию получения кубического карбида вольфрама высокой чистоты. Этот материал сможет заменить дорогие платиновые катализаторы, которые используются при получении водорода. Для синтеза материала необходима чрезвычайно высокая температура, около 3000 °С. Исследователи смогли достичь такой температуры наиболее экономично, с помощью быстрых плазменных струй. Новая технология обещает сделать водород еще более дешевым.

Более чем через сто лет, в 1941 году, к водородной технологии обратились вновь. В блокадном Ленинграде не хватало бензина. При этом водорода было достаточно, поскольку в городе был завод по его производству. Водород использовался для наполнения заградительных аэростатов. Рассказывают, что в критический момент, когда с традиционным топливом стала совсем беда, инженер Борис Шелищ вспомнил, что в романе Жюль Верна «Таинственный остров» водород расхваливается как топливо будущего. Почему нет? Оперативно разработали технологию замены бензина смесью воздуха и водорода. Главным было обеспечить безопасность, для чего придумали специальную водяную заглушку, исключавшую

преждевременный взрыв смеси. В блокаду по городу ездило примерно 600 автомобилей на водороде.

«Да, друзья мои, я думаю, что воду когда-нибудь будут употреблять как топливо, что водород и кислород, которые входят в ее состав, будут использованы вместе или поодиночке и явятся неисчерпаемым источником света и тепла, значительно более интенсивным, чем уголь. Придет день, когда котлы паровозов, пароходов и тендеры локомотивов будут вместо угля нагружены сжатыми газами, и они станут гореть в топках с огромной энергией. (...) Вода — уголь будущего».

Жюль Верн, «Таинственный остров», 1873

Но закончилась война, и о технологии снова забыли. Во-первых, внимание было сосредоточено на атомной энергии. Она была «в моде» и рассматривалась как «чистая». То, что от радиации можно умереть, люди знали, но полагали, что дело в дозе — в малых концентрациях радиация даже «полезна». Разрушительную силу атомного оружия оценивали в первую очередь по физической силе взрыва, почти без учета последствий радиоактивного загрязнения. Дошло до того, что в США была запущена научная программа: ученые использовали радиацию, чтобы получить «полезные» мутации в растениях. Некоторые сорта, в том числе те, что вы до сих пор можете приобрести в супермаркетах, имеют в основе мутацию, полученную в ходе тех опытов.

Второй причиной забвения водорода стало глубокое впечатление, которое произвела на общественность катастрофа немецкого дирижабля «Гинденбург» в 1937 году. Хотя инцидент с этим дирижаблем не является самой крупной воздушной аварией своего времени, он стал знаковым, вроде гибели «Титаника», и поставил крест как на применении водорода, так и на развитии основанного на дирижаблях воздухоплавания в целом. У СССР был свой негативный опыт: в 1934 году с высоты 22 километра рухнул стратостат «Осоaviaхим-1», наполненный водородом. Хотя водород

тут был ни при чем — шар просто обледенел, — репутация у водорода в середине XX века была так себе.

Правительство Москвы проводит планомерную, комплексную политику в области снижения загрязнения воздуха от автотранспорта. Развитие общественного транспорта с приоритетом электрических видов (метрополитен, железная дорога, трамвай, троллейбус, электробус), обновление грузового транспорта, стимулирование немоторизованной мобильности, улучшение условий дорожного движения являются важнейшими природоохранными направлениями деятельности Правительства Москвы. Обновление автопарка может происходить путем замещения старых автомобилей новыми на классических видах топлива, но оборудованных лучшими системами очистки выбросов, либо путем внедрения более экологически чистых видов топлива (газовых смесей) и источников энергии (электромобили или автомобили на водородном топливе). Пока что на бензине — более 90% легкового транспорта, на дизеле — более 80% грузового и общественного транспорта.

Основные виды современного экологичного транспорта



Электромобиль

Электромобили — самый быстроразвивающийся вид экологичного транспорта. Хотя их доля на мировом рынке пока не превышает 3%, а продажи растут нестабильно (в 2019 они даже упали на 4%), эксперты говорят, что к 2040-му на дорогах будет около 31% электромобилей. По прогнозам, в 2020 году в мире будет продано 1,7 млн электромобилей, а всего автомобилей — 66 млн. В Норвегии доля электромобилей составляет 68% от общего числа продаж автомобилей.



Велосипед

Экологичнее не бывает: транспортное средство на человеческой тяге. Вероятно, в мире более миллиарда велосипедов, но точную цифру не знает никто. Несмотря на очевидную пользу для природы и здоровья, за последние 30 лет число велосипедов сократилось вдвое — даже без учета Индии и Китая. Тем не менее власти западных мегаполисов вкладывают серьезные средства в велосипедную инфраструктуру, а урбанисты внушают, что велосипед — это модно и пользование им свидетельствует о высоком уровне культуры его обладателя.



Сегвеи, моноколеса

Что-то очень модное и почти бесполезное? На самом деле, электрический двигатель сближает эти виды транспорта с современными электро-велосипедами. Статистики по количеству моноколов и сегвеев нет, но их все чаще можно встретить на улицах крупных городов, а в США, например, эти экологичные виды транспорта используют полицейские и почтальоны.





Водородный транспорт

Самое передовое, но пока не самое распространенное — водородное топливо. Первый водородный пассажирский поезд курсирует с 2018 года, Boeing разрабатывает водородный самолет, а ведущие автоконцерны, такие как Toyota, Ford, Mercedes-Benz и другие, уже выпускают, хотя и небольшими партиями, автомобили и автобусы, способные ездить на смеси бензина и водорода или на чистом водороде.



Воздухолюбитель

Пока экзотика и, вероятно, тупиковая ветвь эволюции, хотя кто знает. Тем не менее крупнейший индийский автопроизводитель Tata Motors представил первый коммерчески жизнеспособный прототип пневмоавтомобиля. На обычной заправке для электромобилей ему заряжаться четыре часа, на особой, со сжатым воздухом, — три минуты, но таких почти нет.





Трамвай

Трамваи и троллейбусы имеют один недостаток: требуют серьезной инфраструктуры. Безусловно, трамваи останутся украшением исторических центров городов, насчет троллейбусов такой уверенности нет.



Тонкости газовых смесей

Сегодня мы наблюдаем возрождение интереса к водородным технологиям, но, конечно, на принципиально новых технических решениях. То, что пророчество Жюль Верна сбудется и водород снова окажется в игре, было предсказуемо. В начале XXI века четверть мировых загрязняющих выбросов — это выбросы транспорта. На самом деле, наиболее серьезной проблемой оказываются даже не автомобили и самолеты, а морской транспорт. Двигатели судов — чрезвычайно мощные и используют самые низкосортные виды топлива. Считается, что корабль (в пересчете на единицу мощности) в 700 раз более грязен, чем автомобиль.

В 2019 году Москва перешла на обновленную методику расчета выбросов от автомобильного транспорта. Полученные по ней цифры лучше согласуются с объективными, приборными показателями, которые получаются в результате мониторинга. Согласно расчетам Росприроднадзора на основе новой методики, суммарный объем выбросов от автотранспорта в 2019 году в Москве составил 334,4 тыс. тонн. Это на 599,5 тыс. тонн меньше, чем в 2018-м (по старой методике).

К желанию разработать чистое топливо в нулевые годы добавились и другие, чисто экономические обстоятельства. Не случайно примерно с 2005 года резко выросло количество работ по альтернативным источникам энергии. Напомним, что после войны в Ираке стоимость углеводородов резко поднялась. И хотя в 2010-е цены испытали коррекцию, одновременно рынок вошел в длительную, токсичную для потребителей волатильность, связанную как с появлением на рынке сланцевой нефти из США, так и с действиями национальных и международных регуляторов.

Важнейшей задачей правительства Москвы является переход на все более экологичные виды общественного транспорта. С 2014 года Москва закупает взамен выбывших автобусы исключительно 5-го экологического класса. По состоянию на конец 2019 года из 7584 автобусов ГУП «Мосгортранс» более 89,5% соответствовали современным экологическим классам Евро-4 и Евро-5, а именно: 67,5% — Евро-5; 22% — Евро-4; 6,5% — Евро-3. Также в составе автобусного парка 4% электробусов.

Сегодня водородные технологии распадаются на две группы решений. Это, во-первых, применение разного рода газово-воздушных смесей, то есть прямое продолжение находок инженеров из блокадного Ленинграда. Во-вторых, это решения на основе электромобилей: в этом случае водород выступает как действующее вещество внутри аккумулятора.

Огромным преимуществом газовых смесей для мегаполиса является полное отсутствие выбросов твердых частиц. Показатели остальных видов выбросов — на уровне экологических классов 4-5. К тому же газовые двигатели существенно тише. Москва проводит активную работу по формированию развитой газозаправочной инфраструктуры и увеличению количества общественного автомобильного транспорта, использующего в качестве моторного топлива компримированный природный газ. Согласно договору с правительством Москвы, компанией ООО «Газпром газомоторное

топливо» запланированы строительство и реконструкция 12-ти автомобильных газонаполнительных компрессорных станций. К концу 2019 года построено пять станций, четыре — в стадии запуска, три — в стадии проектирования. В 2019 году парк газовых автобусов пополнился на 196 единиц, всего работающих на газе автобусов — 315.

Большинство «газовых» машин, которые вы видите на дорогах, работают на смеси пропана и бутана. Это вызвано тем, что переделка автомобиля под такое топливо очень быстра и дешева, да и заправок достаточно. Менее распространено применение метана, однако государство спонсирует переход на него, растет и число заправок. Разница между этими видами топлива — в том, что пропан-бутан — сжиженный, а метан — сжатый, объясняет автоэксперт Андрей Гречаник. «Плюс сжиженного газа — он позволяет переходить на это топливо практически без переделок двигателя. Нужно лишь поставить дополнительный бак. Минус — сжиженный газ огнеопасен, он скапливается в полостях, может загореться и даже взорваться. Сжатый газ не так опасен: он в случае утечки просто выветривается. Другой плюс метана — он невероятно дешев», — говорит Гречаник. Транспорт на метане, а также гибридные решения получили широкое развитие в Европе, особенно в сегменте малого коммерческого транспорта. В Москве метаном заправляется заметная доля автобусного парка. «Для нашей страны, где метана много, это было бы прекрасное решение», — говорит Гречаник.

А что водород?

Москва является лидером по внедрению электрического транспорта. Помимо метро, электропоездов и других видов транспорта на электрической тяге, в столице появляются электробусы. В отличие от троллейбусов, они не нуждаются в инфраструктуре для своего движения, и, в отличие от дизельных автобусов, чисты и бесшумны. Первые электробусы появились в 2018 году, и сейчас их более трехсот.

Прямое применение водорода в двигателе внутреннего сгорания возможно, но снижается эффективность двигателя. Небольшая переделка позволяет поднять эффективность даже выше, чем у мотора, работающего на бензине, но резко вырастают выбросы токсичных окислов азота, а сам двигатель из-за высокой внутренней температуры становится хрупким. Остаются и проблемы безопасности.

Согласно экспертным оценкам, в результате введения первых двух линий МЦД (Московские центральные диаметры, по сути — «городская электричка») за счет снижения числа поездок на личном транспорте выбросы загрязняющих веществ от автомобильного транспорта могут снизиться на 7 588 тонн в год (около 3% от всех выбросов легковых автомобилей в целом по Москве).

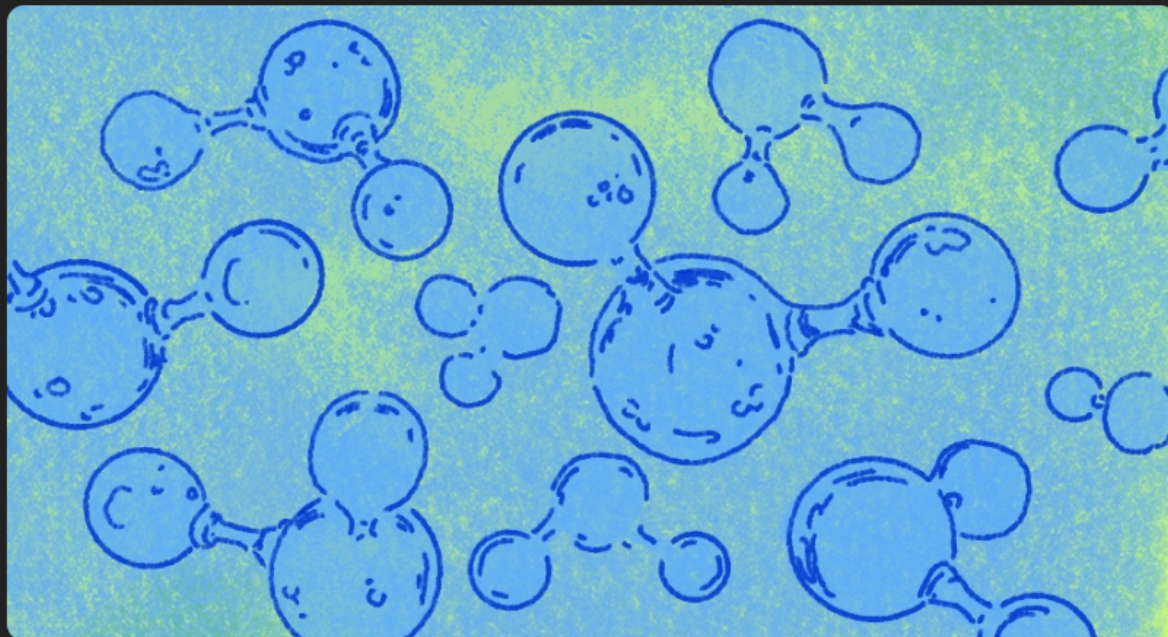
Безусловным плюсом машин на газовых смесях по сравнению с электромобилями является скорость заправки: 3-5 минут против десятков минут и даже часов для электромобиля. Другие преимущества — большой пробег на одной заправке (сотни километров) и невероятно низкая стоимость — конечно, после появления должной инфраструктуры: называют, например, фантастические 4 рубля на всю заправку против 2-3 тыс. руб. в случае бензина. На Западе кое-где можно увидеть на автозаправках надпись «Водород». Такие колонки предназначены для довольно распространенных там машин на биогазе. В США и Европе продаются личные заправочные станции для фермерских хозяйств. Водород вырабатывается ночью, пока электроэнергия дешевая. Это позволяет снизить суточные колебания потребления электроэнергии. В России первая водородная заправка появилась в мае в Московской области, и это пока экспериментальный проект — ее запустили ученые из Института проблем химической физики РАН. Сообщалось, что на заправку заехал единственный в регионе владелец машины на газообразном водороде.

Правительство Москвы стимулирует внедрение электромобилей. Так владельцы электрокаров не платят за парковку. В настоящий момент в городе функционируют 40 зарядных станций ПАО «Мосэнерго» и ПАО «Россети». В рамках соглашения с ПАО «Российские сети» к 2023 году планируется установка 300 зарядных станций.

Что такое водородная технология?

Топливо —

водород, самый легкий газ и самый распространенный химический элемент во Вселенной. На водороде могут работать традиционные двигатели внутреннего сгорания, газотурбинные двигатели, также есть специальные водородные элементы (самая продвинутая технология)



1806 год

создан первый двигатель на водороде. Развития не получил

около 600

автомобилей работало на водороде в блокадном Ленинграде, бензин был в дефиците

Водород

может заменить бензин, но эффективность двигателя снизится. Небольшая переделка решает эту проблему, но растет число выбросов окислов азота, а сам двигатель подвергается

Смесь

водорода и дизельного топлива — неплохое решение для танкеров и грузовиков. В случае танкеров водород производится прямо на борту из воды

Топливный элемент —

лучшее решение. Водород производит электричество, на котором и едет машина. Промышленность уже выпускает как чисто водородные автомобили, так и гибриды. КПД выше, но выше и стоимость (а также почти нет заправочной инфраструктуры)

Принцип работы

водородного топливного элемента, как у обычного аккумулятора, — химическая реакция, в нашем случае окисление водорода, производит ток



Электроны и вода

Здесь мы пересекаем невидимую черту между технологиями.

Упомянутая выше «единственная машина в регионе» — это Toyota Mirai, которая стоит на водоразделе между электромобилями и классическими водородными авто. Это электромобиль, да. Но его надо заправлять водородом, как обычно заправляют бензином.

В топливном элементе внутри машины «выделяются электроны и вода, около 100 г на 1 км, она просто испаряется, и все — больше никаких выбросов», — говорит Гречаник. Сама машина не экстремально дорога (около \$50 тыс.), но говорить об экономии все-таки не приходится, сетует Гречаник: пока инфраструктуры производства водорода и заправки им, по сути, не существует, топливо, которые счастливому владельцу придется брать в самых невероятных местах, оказывается дороже электроэнергии, требуемой для электромобиля. Однако налицо и плюсы, которые сделают именно эту технологию одним из базовых решений завтрашнего дня. Помимо упомянутой скорости заправки и большого пробега, это КПД: если у бензинового двигателя он составляет примерно 35%, то у водородного доходит до 85%, и это не предел.

Но водород старательно поддерживает репутацию «опасного парня». Как и в случае с дирижаблем «Гинденбург», инвесторов и рядовых пользователей насторожила авария. В нашем случае — в Норвегии летом 2019 года. Взрыв на водородной заправке в городе Сандвик заставил правительство запретить дальнейшие разработки технологии и закрыть водородные заправки до выяснения всех обстоятельств. Владельцы водородных автомобилей (в Норвегии их немало) ездили заправляться в Швецию и даже в Финляндию. Но вряд ли это остановит шествие водородных технологий по планете: и в США, и в Юго-Восточной Азии уже создана достаточная автозаправочная инфраструктура, автомобили продаются, пользователи довольны.

Первые попытки создания топливных элементов для транспорта были предприняты более полувека назад: в 1959 году компания Allis-Chalmers Manufacturing Company представила работающий на них трактор. Такие решения долгое время оставались прототипами: аккумуляторы очень дороги. Решительное снижение себестоимости топливных элементов произошло в 2010-е годы и связано с развитием нанотехнологий, созданием новых материалов и т.д. Согласно выкладкам Международного энергетического агентства, к концу столетия 25% транспорта будет питаться водородом. Объем рынка этой индустрии к 2050 году может достигнуть \$2,5 трлн. Все это уже к середине столетия приведет к сокращению выбросов на 6 гигатонн в год.

Но главные изменения ждут рынок все-таки в сегменте коммерческого транспорта: корабли, самолеты, поезда. Примеров уже так много, что в коротком обзоре всего не перечислишь. Назовем лишь наиболее значимые кейсы. Два года назад в Германии компанией Alstom запущен первый водородный поезд Coradia iLint. Он движется со скоростью до 140 километров в час и от заправки до заправки может проехать тысячу километров. Весной этого года завершились испытания двух таких поездов. Результаты признаны

успешными, и с 2021 года компания должна поставить железной дороге 14 составов. Инвестиции в проект составили €81 млн.

Правительство Москвы активно работает над созданием альтернатив использованию личного транспорта. В первую очередь заменой могут стать такси и каршеринг. Для получения лицензии таксиста экологический класс автомобиля должен быть не ниже Евро-3. Средний возраст легковых такси в 2018 году составил 2,8 лет, московский таксопарк — один из самых «молодых» в Европе. За последние несколько лет средний возраст машин легковых такси снизился более чем в 1,5 раза. Пассажиропоток московского такси с 2010 года возрос с 16 млн в год до почти 325 млн в год, то есть примерно в 20 раз. Согласно прогнозу, по итогам 2020 года такси будет перевозить около миллиона человек в сутки, пассажиропоток за весь год составит почти 370 млн. Ежедневно на автомобилях московского каршеринга совершается около 170 тыс. поездок. В 2019 году совершено 44 млн поездок. По результатам опроса пользователей (60 тыс. респондентов), более половины автовладельцев, пользующихся каршерингом, готовы отказаться от личного автомобиля. В 2019 году оператор «Яндекс.Драйв» запустил пилотный проект электрокаршеринга. В парке оператора 30 полностью электрических Nissan Leaf. Всего в парке операторов каршеринга представлены 40 электрокаров.

В августе компании CSIRO и Boeing представили исследование, согласно которому массовый переход авиации на водород произойдет уже в 2050 году (напомним, что действующий концепт водородного самолета первыми показали немецкие инженеры в 2016 году). Важным побудительным мотивом выступает требование Международной ассоциации воздушного транспорта сократить к этому времени выбросы на 50%. Уже с 2025 года начнется создание в аэропортах терминалов для заправки самолетов водородом. Инженерам предстоит решить задачу переделки самолетов дальних рейсов под новый вид топлива. Собственно, наметки уже есть:

в сентябре Airbus представил дизайн трех водородных самолетов. Среди концептов есть и лайнер для трансатлантических перевозок.

В феврале сооснователь Microsoft Билл Гейтс заказал суперяхту, движимую водородом. Жидкий водород хранится в баках. Стоит новинка \$644 млн. Такие новости делают технологию модной, но на самом деле внедрение водорода в промышленное судоходство идет полным ходом. Пока в Петербурге любовались катамараном Energy Observer от Toyota (судно посетило город в прошлом году), гигантские танкеры оснащаются устройствами, вырабатывающими водород прямо на борту. Американским инженерам удалось собрать концепт грузовика, который делает то же самое. В конце 2019 года случилось переломное событие: Kawasaki спустила на воду первый в мире корабль для перевозки жидкого водорода. Без такого транспорта инфраструктуры не построить.

Летом опубликована Водородная стратегия ЕС: согласно документу, к 2030 году Европе должны покрыть водородные газопроводы протяженностью 23 тыс. км. Стратегия отдает приоритет возобновляемому водороду, то есть газу, получаемому исключительно за счет чистых технологий (солнечная энергия, ветер). Однако на переходном этапе допускается производство водорода из ископаемого топлива. Правительство ЕС поддержит строительство до 2024 года 6 ГВт мощностей по производству возобновляемого водорода. Ожидается, что инвестиции в отрасль составят до €470 млрд к 2050 году.

Доля «зеленого» транспорта в будущем
К 2030 году:

-10%

число поездок
в городах на личных
авто

36,7 млн

горожан изменят
способ передвижения

**Города-
лидеры**

перемен: Манчестер,
Москва, Сан-Паулу

49%

поездок в мегаполисах —
на «зеленом» транспорте
(на автомобилях — 46%)

+18%

число поездок на велосипеде, самом
быстрорастущем городском виде
личного транспорта

Источник: исследовательское агентство Kantar



Синтез решений

Пути действительно великих технологий редко бывают прямыми: после озарения, надежд и создания прототипов наступает период забвения, но рано или поздно — ренессанс. Как только водород был открыт, стало интуитивно понятно, что это практически идеальное топливо. Но потребовалось развитие множества сопутствующих технологий, прежде чем интуитивное перешло в практическую плоскость.

Согласно выкладкам Bloomberg NEF, к 2050 году четверть генерации электроэнергии будет осуществляться с помощью водорода. Само его производство будет базироваться на использовании энергии ветра и солнца, себестоимость килограмма газа составит \$0,8-1,6 (что сопоставимо с сегодняшними ценами на природный газ). Интересно, что более низкая себестоимость будет достигнута в странах, богатых солнцем: таким образом, у государств Африки появляется шанс

занять хорошее место среди энергетических держав скорого будущего.

Возможно, нас ждет некий синтез «зеленых» технологий, которые в настоящее время предстают разрозненными и даже конкурирующими между собой. На эту мысль наталкивает, например, проект в городе Манилла в Австралии. Там избытки солнечной энергии будут хранить в виде водорода. Проблема солнечных электростанций, как известно, заключается в их сложной встраиваемости в диспетчерские системы «большой» энергетики. Проблему пытаются решить с помощью аккумуляторов нового поколения, но вот — решение нетривиальное. Интересно, что водород будет храниться не в виде газа. Его будет впитывать особый материал (борогидрид натрия), а при необходимости — отдавать. На мысль о синтезе технологий наталкивает и сама концепция производства одного вида чистого топлива с помощью другого.

События развиваются стремительно. Еще в середине нулевых годов можно было подшучивать над исследователями, которые превращали в топливо мусор, навоз и даже водку (в середине нулевых в Норвегии был представлен проект отопления дома водкой, на сутки хватало бутылки — российские СМИ вдоволь над этим пошутили). К середине 2010-х ирония превратилась в тревогу: стало понятно, что, с одной стороны, мировой энергетический рынок находится в сложнейшем положении, с другой — что климатические изменения уже невозможно игнорировать и требуются быстрые действия. Сегодня, особенно после сурового экзамена, который мировой экономике устроила пандемия, можно констатировать, что новая энергетическая эра наступает на наших глазах. Вполне возможно, что оценки, приведенные выше, окажутся слишком консервативными. Человечество оставит в покое недра и выйдет на новый уровень ответственности и осознанности в своей энергетической политике практически завтра.