

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА МИРОВОМ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ РЫНКЕ**

Кулькова О.Д.¹, Малькова Я.Ю.²

Научный руководитель доцент О.А. Горбунова¹

¹*Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Россия*

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

На мировом энергетическом рынке наблюдаются значительные перемены, связанные с водородной энергетикой, которые говорят о том, что отрасль начинает получать импульс в этом направлении. В частности, многие правительства активно работают над включением водорода в свои энергетические стратегии, а промышленность увеличивает инвестиции в эту область. Международное сотрудничество также играет важную роль. Действует множество факторов, включая усилия по борьбе с изменением климата и стремление достичь нулевых выбросов, обуславливающих динамику рынка. Будущее водорода выглядит светлым, но ключевой вопрос заключается в том, достаточно ли быстр прогресс и движется ли он в направлении, необходимом для того, чтобы водород сыграл свою роль в решении проблемы изменения климата. На данный момент не существует технологических лидеров в области водородной энергетике, так как все страны находятся на ранней стадии изучения этой отрасли. Это связано с тем, что массовое применение водорода все еще ограничено. Водородная энергетика в основном интересна ученым и передовым крупным компаниям, которые следят за трендами и исследуют перспективы в этой отрасли.

Однако, водород уже является значительным бизнесом, и по оценкам МЭА, в 2020 году спрос на водород составил 90 млн тонн. Большая часть этого объема используется в промышленности в качестве основного сырья или для нефтепереработки в ряде процессов, в т. ч. для снижения содержания серы и дизельного топлива. Использование водорода в качестве топлива находится на ранней стадии развития и ограничено только автомобильным транспортом, который составляет около 0,02 % общего спроса.

В сценарии The Net Zero Emissions by 2050 водород должен будет сыграть важную роль в переходе к системе с нулевым чистым энергопотреблением. Спрос на водород должен вырасти в шесть раз к 2050 г., и его использование должно распространиться на новые сектора, включая перевозки на дальние расстояния, особенно большегрузные машины, чтобы дополнить использование электричества, авиацию и судоходство и в областях, основанных на водороде, таких как аммиак и синтетические углеводороды, новые применения в тяжелой промышленности, такие как производство безуглеродистой стали или ее использование для производства электроэнергии с целью обеспечения баланса для хранения электроэнергии, а также как способ увеличения доли возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ), которые могут быть интегрированы в энергосистемы. С учетом этого, для достижения нулевого уровня выбросов к 2050 г., водородные месторождения должны удовлетворить более 10 % конечного потребления энергии, растущего менее чем на 0,1% сегодня. Следует четко понимать то, что, водород — лишь составной элемент декарбонизации наряду с другими ключевыми столпами, такими как ВИЭ, электрификация, энергоэффективность, улавливание углерода, использование, хранение и биомасса и т.д. Доля электричества в данном сценарии соответствует 50 % к 2050 г. от общего конечного потребления энергии, т. е. в 5 раз больше, чем доля водорода. Водород имеет основополагающее значение для насыщенных и естественных выбросов в определенных секторах, где трудно избавиться от эмиссии углекислого газа, нет других технологических вариантов, лишь тяжело реализуемые инструменты.

Несмотря на то, что спрос на водород растет, распространение водородных технологий на новые секторы происходит очень медленно. В соответствии с текущими водородными тенденциями, спрос может вырасти до 105 мегатонн к 2030 г., но большая часть этого роста придется на традиционные виды использования. Рост спроса на водород в секторе переработки будет происходить по той причине, что сектор восстанавливает активность, сниженную из-за пандемии. В химической промышленности ключевым драйвером спроса является увеличение спроса на аммиак, поскольку он будет необходим для производства большего количества азотных удобрений, чтобы соответствовать росту населения. В сталелитейном секторе ожидается, что спрос на водород также будет расти из-за растущей потребности в стали, особенно для развитие новой инфраструктуры в странах с развивающейся экономикой.

Также наблюдаются некоторые начальные разработки в области новых направлений использования. Рынок автомобильного транспорта и электромобилей быстро растет, за последние три года он вырос в шесть раз, и существует несколько демонстрационных проектов по использованию водородного топлива в грузовых автомобилях, в судоходстве, в железнодорожном и авиационном транспорте. В химическом секторе ожидается запуск проекта в Испании по использованию переменных ВИЭ для производства водорода, а затем и для производства аммиака. Также есть несколько других крупномасштабных проектов, которые, как ожидается, будут введены в эксплуатацию в ближайшие два-три года. В сталелитейном секторе в 2021 г. в Швеции был начат пилотный проект «низкоуглеродного разлива», а также в Японии начался демонстрационный проект по сравнению двадцатипроцентной доли аммиака в масштабе одного гигаватта мощности, который, как ожидается, будет завершен к 2025 г.

Принимая во внимание обещания, сделанные правительствами относительно спроса на водород, в сценарии The Announced Pledges к 2030 г. спрос может увеличиться до 120 мегатонн водорода, и более 10 % должно приходиться на новые виды использования. Для претворения этих планов в жизнь потребуются поэтапное изменение в структуры спроса, большие амбиции и конкретные политические действия. Правительства начинают объявлять о широком спектре политических инструментов, таких как аукционы по установлению квот на выбросы углерода, но практически ни один из них не был введен в действие. Быстрое и широкомасштабное принятие таких мер поможет распространить использование водорода.

Сегодня водород все еще не является вектором чистой энергии, которым он должен быть, чтобы внести вклад в климатическую повестку. В 2020 г. производство водорода происходило за счет традиционных источников энергии.

Это привело к почти 900 млн т. выбросов CO₂, что эквивалентно совокупным выбросам в Соединенном Королевстве и Индонезии. Производство «чистого» водорода было в пределах менее чем одной мегатонны, которое осуществлялось предприятиями, использующими ископаемое топливо и технологии для хранения и улавливания углерода. Небольшой вклад внесли объекты, использующие процесс электролиза воды.

Количество объявленных проектов по водородной генерации растет с впечатляющей скоростью. Анализ МЭА существующих проектов показывает, что к 2030 г. возможно производить более 17 млн т. низкоуглеродистого водорода, многие из этих проектов уже находятся на продвинутых стадиях планирования, но около четверти все еще находится на ранних стадиях разработки. Прогнозируется равномерное распределение между проектами, направленными на производство водорода из электролиза воды, и проектами, направленными на производство водорода из ископаемого топлива с технологией улавливания и хранения углерода.

Масштабность проектов является важным фактором снижения стоимости производства низкоуглеродного водорода, которая является самым большим препятствием для конкуренции с сокращением производства водорода на основе ископаемого топлива. Стоимость водорода, полученного из природного газа, колеблется в зависимости от региональных цен на газ - от 0,5 до 1,7 долл. за кг. Сочетание ископаемых установок с установками для улавливания и хранения углерода увеличивает стоимость водорода до одного-двух долл. за кг, а при использовании электроэнергии, полученной из ВИЭ генерации, стоимость водорода составляет 3–8 долл. Увеличение масштабов производства водорода, постоянные технологические инновации и снижение затрат на электроэнергию из ВИЭ предполагают, что стоимость улавливания загрязняющих веществ из ВИЭ должна снизиться. В рамках такой амбициозной политики цена на зеленый водород может упасть до 1,3 долл. за кг в тех регионах, которые имеют развитую ВИЭ инфраструктуру, в остальных регионах цена будет до 3,5 долл. за кг. Это поможет зеленому водороду стать конкурентоспособным по сравнению с остальными видами.

Снижение стоимости может, с одной стороны, дать толчок развитию глобального рынка водорода, что может помочь странам с ограниченным потенциалом установить значительные мощности по производству водорода с низкими выбросами углерода для удовлетворения растущих национальных потребностей или импортировать его из других регионов. С другой стороны, это возможность экспорта в регионы с развитой возобновляемой энергетикой или с большим потенциалом хранения CO₂. Правительства уже рассматривают Японию для реализации данной идеи. В 2020 г. произошли три знаменательных события для отрасли. Во-первых, состоялась первая отгрузка жидкого органического водорода между Брунеем и Японией. Во-вторых, 40 тонн аммиака, произведенного с использованием ископаемого топлива и технологий улавливания и хранения углерода, были отправлены из Саудовской Аравии в Японию. В-третьих, в 2022 г. была осуществлена транспортировка первой партии сжиженного водорода произошла между Австралией и Японией. Было объявлено о более чем 70 проектах, направленных на экспорт водорода, 17 из них находятся в стадии разработки. Эти проекты в значительной степени сосредоточены в азиатско-тихоокеанском регионе, но есть некоторые начальные разработки в Латинской Америке, Северной Африке и Европе.

Производство стали является возможностью водорода для реализации своего потенциала, большая часть мирового производства стали довольно углеродоемка, т.к. по-прежнему производится в доменной или кислородной печи, и полученная сталь имеет углеродоемкость в среднем около 2,8 т. CO₂ на тонну стали. Углеродоемкость сталелитейного сектора можно уменьшить, используя процесс прямого восстановления железа и стойкость электрической дуги, до 1 тонны CO₂ на тонну стали. Существует растущий глобальный спрос на низкоуглеродистую сталь, например, Volkswagen и Toyota стремятся полностью исключить выбросы углерода в своих цепочках создания стоимости, включая своих поставщиков, и принимая во внимание перспективу полного жизненного цикла. Существует два способа использования чистого водорода в производстве стали: первый — использовать водород в качестве альтернативы углю и коксу для улучшения производительности обычных доменных печей. Однако, в то время как использование чистого водорода в доменных печах может снизить выбросы углерода до 20 %, зачастую это не обеспечивает углеродную нейтральность произведенной стали, потому что обычный коксующийся уголь все еще необходимый реагент в доменной печи. Второй способ: использовать водород в качестве альтернативы природному газу для производства железа прямого восстановления, которое может быть далее переработано в сталь с использованием электродуговой печи. Поэтому, основанная на использовании зеленого водорода, а также возобновляемой электроэнергии, установка позволяет производить почти углеродно-нейтральную сталь всем европейским производителям стали.

В настоящее время строят и уже тестируют процессы производства стали на основе водорода, наиболее известным является Hybris, который уже получил технико-экономическое обоснование. Шведский сталелитейный сектор взял вектор на декарбонизацию и отказ от использования ископаемого топлива к 2040 г. Использование водорода в качестве химического восстановителя будет конкурентоспособным в регионе с ценой на углерод от 45 \$ до 70 \$ за тонну, при условии, что электричество будет стоить около пяти центов за кВт·ч.

Еще одним примером использования водорода в промышленности может быть производство цемента, который выделяет углекислый газ через два часа. Основные виды деятельности, такие как использование энергии и реакции обжига, а также выбросы, связанные с энергетикой, составляют около 30 % от прямых выбросов CO₂ при производстве цемента, и, следовательно, водород может быть ценным источником энергии для снижения уровня выбросов.

Литература

1. International Energy Agency, Global Hydrogen Review 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>.