

УДК 621.039.533.6+ 001:002

И.И. Белан, Д.А. Левина

РОЛЬ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

Белан Ирина Ивановна – кандидат физико-математических наук, заведующая отделом, Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, Киев, belanira2014@gmail.com

Левина Диана Анатольевна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, Киев, dianalevina768@gmail.com

В статье рассмотрено место и роль водорода в декарбонизации экономики Евросоюза, показывающие преимущества водорода как энергоносителя для одновременной декарбонизации транспортного, жилищного, коммерческого и промышленного секторов, а кроме того имеющего синергию с другими альтернативами с низким уровнем выбросов углерода и могущего обеспечить более рентабельный переход к декарбонизированным и экологически чистым энергетическим системам. Также проанализированы возможности декарбонизации Китая и США, как наибольших загрязнителей углекислым газом.

Ключевые слова: декарбонизация, водород, выбросы углекислого газа, изменения климата, топливные элементы, электромобили

ВВЕДЕНИЕ

Развитие промышленности, транспорта и других видов деятельности людей приводит к непрерывному росту количества выбросов углекислого газа от различных ископаемых источников (рис. 1).

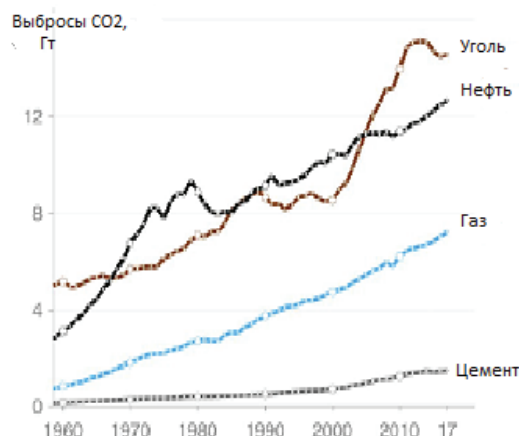


Рис. 1. Рост количества выбросов углекислого газа от различных ископаемых источников в мире [1]

Такие темпы загрязнения грозят необратимыми катастрофическими изменениями мирового климата.

Парижская конференция по климату 12 декабря 2015 года приняла Соглашение, призывающее снизить темпы глобального потепления, ограничив к 2050 году рост средней глобальной температуры величиной не более 1,5 °С по

отношению к уровню 1990 года [2]. Странам, особенно тем, которые дают большую долю мирового загрязнения CO₂, предложено разработать национальные программы декарбонизации своей экономики.

Проект «Пути глубокой декарбонизации» (DDPP), выполняемый по инициативе SDSN (Сети решений для устойчивого развития) и IDDRI (Институтом устойчивого развития и международных отношений), с учетом национальных обстоятельств и приоритетов DDPP определяет пути декарбонизации мировой и национальных энергетических систем до 2050 года [2-5].

В настоящее время в проекте задействованы исследовательские группы из 16 стран, на которые приходится около 70% глобальных выбросов парниковых газов.

В статье рассмотрено место и роль водорода в декарбонизации экономики Евросоюза, как примера, показывающего преимущества водорода как энергоносителя для одновременной декарбонизации транспортного, жилищного, коммерческого и промышленного секторов, а кроме того имеющего синергию с другими альтернативами с низким уровнем выбросов углерода и могущего обеспечить более рентабельный переход к декарбонизированным и экологически чистым энергетическим системам, а также Китая и США, как наибольших загрязнителей углекислым газом.

ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ В ЕВРОСОЮЗЕ

Евросоюз поставил цель – к 2050 году снизить выбросы углекислого газа примерно на 2800 мегатонн, что составляет около 80% от суммарных выбросов CO₂ в 2014 году. При этом особое значение придается водородной энергетике, которая может придать необходимую гибкость системам возобновляемой энергии. В ЕС разработана Дорожная водородная карта [3], которая определяет вехи на пути к энергетической трансформации региона и предусматривает комплексное развертывание энергетике с использованием водородных технологий и топливных элементов по двум сценариям: амбициозному двухступенчатому и обычному коммерческому. Двухступенчатый сценарий Дорожной карты основывается на том, что водород является лучшим или единственным выбором для масштабной декарбонизации во всех ключевых отраслях производства и его использование может обеспечить половину запланированного к 2050 году уменьшения углеродных выбросов в атмосферу. Однако чтобы реализовать амбициозный переход энергетической системы ЕС, необходимо осуществить ряд действий. Среди них важнейшими являются следующие.

В области генерации электроэнергии (производство, балансировка, выравнивание):

- Интеграция возобновляемых источников энергии в электрические сети.
- Производство электроэнергии из возобновляемых источников.

В транспортной отрасли:

- Замена двигателей внутреннего сгорания на FCEV, в частности в автобусах и грузовых автомобилях, такси и фургонах, а также крупных пассажирских транспортных средствах.
- Декарбонизация авиационного топлива путем использования синтетического топлива на основе водорода.
- Перевод дизельных поездов и нефтяных кораблей на водородные топливные ячейки.

Для нагрева и энергетического питания сооружений:

- Декарбонизация сетей природного газа путем смешивания газов.

Для промышленного нагрева:

– Замена природного газа в процессах промышленного нагрева.

Для использования в качестве промышленного сырья:

– Превращение сетей природного газа в чисто водородные.

– Переход от доменного производства к производству железа прямым восстановлением.

– Замена природного газа в качестве исходного сырья смесью с метанолом и др.

В результате выполнения программы работ по Дорожной карте будет достигнуто:

~ 24% снижение спроса на конечную энергию;

~ 15% уменьшение местных выбросов (NO_x) от автомобильного транспорта;

~ 560 Мт снижение годовых выбросов CO_2 ;

~ 820 млрд. Евро годового дохода (водород и оборудования);

~ 5.4 миллионов рабочих мест (водород, оборудование, снабжающая промышленность).

ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ В КИТАЕ

Наибольшие выбросы углекислого газа приходятся на Китай, который в 2007 году превзошел США в качестве крупнейшего в мире источника выбросов CO_2 . По состоянию на 2013 год на долю страны приходилось около 27% мирового объема выбросов этого газа. Китаю необходимо перейти на путь низкоуглеродной экономики при одновременном удовлетворении своих внутренних потребностей в области развития, в первую очередь, для снижения уровня бедности, на котором, по состоянию на 2008 год, жило 13% от общей численности населения – около 170 миллионов человек [4].

На путь глубокого обезуглероживания Китая существенное влияние могут оказать три ключевых фактора: замена угля на электроэнергию в промышленном секторе, уровень проникновения электромобилей в транспортном секторе и потенциал улавливания, утилизации и хранения углерода.

Рост городского населения и повышение общего жизненного уровня приведут к большему потреблению энергии и большим выбросам углерода. Возможность диверсификации энергопотребления затруднена из-за преобладания запасов угля в природных ресурсах Китая и меньшей его стоимости в сравнении с другими видами топлива.

Энергетическая структура Китая будет постепенно переходить к чистой и низкоуглеродной энергетике. Электроэнергия постепенно станет основным источником энергии с трехкратным повышением потребления электроэнергии и двукратным повышением уровня электрификации в 2050 году в сравнении с 2010 годом. В 2050 году потребление электроэнергии на душу населения прогнозируется на уровне около 8700 кВт-ч, что близко к среднему уровню потребления в 2010 году в развитых странах.

Электричество от неископаемых источников будет доминировать в производстве электроэнергии с увеличением этого показателя до 72% благодаря огромному росту энергии ветра и солнца, а также устойчивому росту ядерной и гидроэнергетики. Китайское неископаемое топливо достигнет примерно 15% от всего потребляемого топлива в 2020 и 20% – в 2030 году с ускорением роста, особенно после 2030 года – до 42% к 2050 году.

К 2050 году мощность ветроэнергетики составит около 1200 ГВт, на которую будет приходиться 26,8% всей выработки электроэнергии, не основанной

на ископаемом топливе, а мощность солнечной энергетики составит более 1200 ГВт, что обеспечит 21,7% выработки электроэнергии на ископаемом топливе.

При использовании солнечной и ветроэнергетики, характеризующихся нестабильной генерацией, для поддержания надежной работы необходима гибкая балансировка энергии и переключение между энергетическими источниками (региональная координация, выработка синтетического природного газа, колебания в энергетических потребностях и обеспечение гибкости нагрузки). В качестве гибкого уравнивающего энергетического ресурса целесообразнее всего использовать водородную энергетику.

Для общей декарбонизации Китая решающее значение имеет декарбонизация отраслей промышленности. Она должна основываться на повышении энергоэффективности, переключении топлива, переходе к чистой и низкоуглеродистой энергии, включая тепло, природный газ, электричество и возобновляемые источники.

Использование водорода необходимо в газопроводах и в качестве гибкого энергоресурса при балансировке и переключении топлив. Ожидается, что благодаря этим совместным мерам выбросы CO₂ на единицу энергопотребления в промышленном секторе Китая будут сокращены на 70% в 2050 году.

На транспортный сектор в 2010 году приходится 15% от общего конечного потребления энергии и 10% от общего объема выбросов CO₂. Ожидается, что спрос на транспорт в Китае будет быстро расти. Для его декарбонизации потребуются изменение структуры транспортного сектора, повышение его энергоэффективности.

Большую роль при этом играют технологические инновации. Биотопливо в значительной степени начнет заменять бензин начиная с 2020 года, а к 2050 году на его долю будет приходиться 20% общего потребления энергии в транспорте. Доля бензиновых и дизельных транспортных средств к 2050 году значительно сократится за счет возрастающего количества транспорта на альтернативных видах топлива. Электромобили с 100% электроприводом – EPV, гибридные электромобили с подключаемым модулем – PHEV и транспортные средства на водородных топливных элементах – FCV, как прогнозируется, появятся в продаже к 2030 году, а в 2050 году EPV и FCV будут составлять 60% всего парка легковых автомобилей.

Однако для ускорения перехода транспорта на альтернативные виды топлива необходимо предпринять ряд соответствующих политических и экономических мер. Они могут включать льготы, например, увеличение субсидий на покупку или использование EPV или FCV, снижение или отмену дорожных сборов для EPV и FCV и т.п. Технологические усовершенствования будут иметь решающее значение, особенно в отношении технологий хранения энергии, времени зарядки батарей, автономного расстояния между заправками, развития инфраструктуры для зарядки электроэнергией.

Учитывая все эти факторы, исследователи из Института энергетических исследований (ERI) и Китайского исследовательского центра автомобильной энергетики прогнозируют увеличение доли EPV и FCV в общем парке легковых автомобилей до 80%. Что касается доли FCV в сфере грузовых и междугородних пассажирских перевозок, то она может быть увеличена в 2050 году до 20% и 30% соответственно.

Резкое снижение общих выбросов CO₂ от ископаемого топлива произойдет в период 2030–2040 годы и вдвое ускорится в течение 2040–2050 годов [4].

ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ В США

США сьогодні являються одним из найбільших забруднювачів парниковими газами.

Здесь проблема декарбонізації очень важна, поскольку исторически в источниках энергии в этой стране преобладают ископаемые виды топлива, на которые в течение последних 60 лет приходилось более 80% первичного потребления энергии и более трех четвертей общих валовых выбросов парниковых газов за последние два десятилетия.

В 2014 году Lawrence Berkeley National Laboratory и Pacific Northwest National Laboratory подготовили доклад «США 2050 – путь к глубокой декарбонізації» [5]. В докладе отмечено, что глубокая декарбонізації (сокращение выбросов ПГ на 80% ниже уровня 1990 года к 2050 году) требует фундаментальных изменений в энергетической системе США в трех областях:

- 1 – конечном использовании энергии в зданиях, на транспорте и в промышленности;
- 2 – декарбонізації электричества и других видов топлива;
- 3 – переключении топлива конечного потребления на электроэнергию и другие низкоуглеродистые виды энергии.

Достижение в США целевого показателя выбросов CO₂ не более 750 млн. т потребует сокращения неконтролируемого сжигания ископаемого топлива, по крайней мере, на 80% ниже текущих уровней, 10-кратного снижения выбросов углерода на душу населения и 15-кратного снижения выбросов углерода на доллар ВВП.

Сжигание ископаемого топлива будет сосредоточено в меньшем количестве источников выбросов, чем в настоящее время из-за перехода на электричество в сооружениях и в транспорте, на долю которого приходится более одной трети текущих выбросов США.

Рассмотрены четыре сценария глубокой декарбонізації: три основных энергетических варианта использования электричества – энергия от возобновляемых источников, ядерная энергия и энергия от ископаемых источников с использованием высокого уровня улавливания CO₂ и смешанный вариант, который включает в себя сбалансированное сочетание трех вышеперечисленных основных энергетических ресурсов.

В декарбонізированной энергетической системе США существенное место займет энергия, получаемая от водорода (таблица 1). Как видно из таблицы, водород нужен во всех рассмотренных сценариях. Особенно это касается необходимости переключения с одного вида генерирующих ресурсов (например, энергии ветра, солнца, гидроэлектроэнергии, атомной энергии) на другой, изменения местоположения используемых ресурсов, обеспечения необходимой скорости балансирования энергии, а также переключения с одного вида носителей (электричество, газ, жидкость) на другой. Доля энергии от водорода, необходимая для таких переключений, колеблется от 45% в случае ядерного сценария (II) до 5% в случае сценария с ископаемым топливом (III).

В случае сценария (I) возобновляемых ресурсов с высоким уровнем негибкой генерации (переменный ветер, солнечная энергия), для поддержания надежной работы необходимы различные стратегии балансирования энергии (региональная координация, выработка синтетического природного газа, сокращение, накопление энергии и обеспечение гибкости нагрузки) с использованием гибкого уравновешивающего энергетического ресурса, в качестве которого целесообразнее всего использовать водородную энергию, доля которой составляет примерно 15 % всей потребляемой энергии.

Таблиця 1

Доля водорода в энергетике США в 2050 году, % (5)

Показатели	Сценарии			
	I Возобновляемые источники	II Ядерная энергия	III Ископаемое топливо с высоким уровнем очистки	IV Смешанный сценарий
Балансировка	15	0	0	15
Переключение	10	45	5	25
Суммарная доля водородной энергии в конечной энергии при использовании топлива в газовом состоянии	6,7	6,6	0	6,7
Суммарная доля водородной энергии в конечной энергии при использовании жидкого и твердого топлива	10,3	32,6	2,6	20,6

Для обеспечения безопасности при использовании водород, полученный электролизом, путем метанирования – смешивания в газопроводе с газофицированной биомассой, превращается в синтетический природный газ с низким выбросом CO₂. Трубопроводный газ становится доминирующим неэлектрическим топливом, в основном используемым в промышленности и грузовых перевозках. Его эффективно применять для балансирования, например, при колебании сезонных потребностей на протяжении длительного периода (от недель до месяцев).

Жидкое топливо является доминирующим неэлектрическим топливом в сценарии (II) ядерного топлива. Дисбаланс электроэнергии длительностью от дней до недель не требует длительного хранения балансирующего топлива, как в сценарии (I) возобновляемых источников энергии. Балансировка электроэнергии осуществляется в основном за счет жидкого водорода в тандеме с жидким биотопливом.

Таким образом, используемые для балансировки и переключения водород и синтетический природный газ (называемые [5] “электрическим топливом”), несмотря на свою изначально высокую стоимость, придают всей энергетической системе гибкость, повышая эффективность всей интегрированной энергетической системы.

Транспортный сектор

К 2050 году согласно «смешанному» сценарию (IV) треть парка легковых автомобилей будет состоять из автомобилей на водородных топливных элементах, а по «ядерному» сценарию (II) таких автомобилей будет порядка 60%.

Что касается парка большегрузных автомобилей, то его доля на водородном топливе составит около 20% по «смешанному» (IV) и «возобновляемому» (I) сценариям и более 40% – по «ядерному» (II) сценарию.

Прогнозируется, что количество электромобилей и автомобилей на топливных ячейках будет расти медленно до 2030 года и станет доминирующим в 2040 году.

По «смешанному»(IV) и «возобновляемому»(I) сценариям транспортные средства, такие как грузовики и автобусы средней грузоподъемности будут работать на сжатом газе, а большинство грузовых железнодорожных и некоторых транспортных средств переключатся на сжиженный обезуглерожженный трубопроводный газ. В «ядерном» сценарии (II) парк транспортных средств в основном (более 50%) будет работать на водородных топливных элементах.

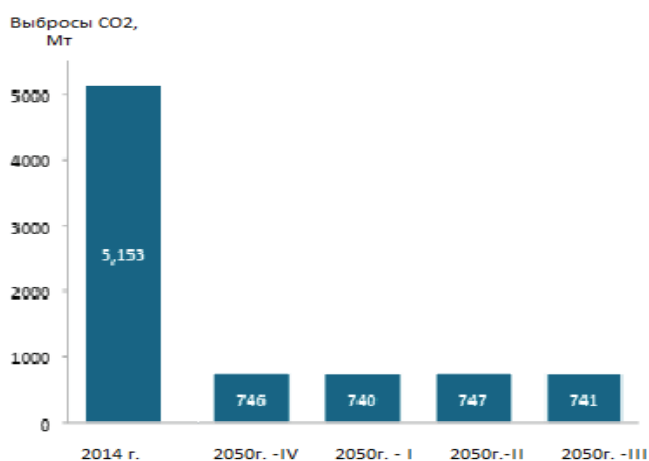


Рис. 2. Прогнозы снижения выбросов CO₂ в США по разным сценариям

По прогнозам всех рассмотренных сценариев в США при существенном повышении потребностей в электроэнергии благодаря увеличению использования альтернативных видов энергии, таких как электричество и водород, с примерно 20% в настоящее время до более чем 50% к 2050 году удастся существенно снизить выбросы углекислого газа (Рис.2).

Таким образом, примеры рассмотренных стран показывают, что водородная энергетика может и должна обеспечить декарбонизацию транспортного, жилищного, коммерческого и промышленного секторов и способствовать переходу к экологически чистым энергетическим системам.

У статті розглянуто місце і роль водню в декарбонізації економіки Євросоюзу, як приклад, що свідчить про переваги водню як енергоносія для одночасної декарбонізації транспортного, житлового, комерційного та промислового секторів, а крім того має синергію з іншими альтернативами з низьким рівнем викидів вуглецю і що може забезпечити більш рентабельний перехід до декарбонізованих і екологічно чистих енергетичних систем. Крім того проаналізовані шляхи декарбонізації Китаю та США, як найбільших забруднювачів вуглекислим газом.

The article discusses the place and role of hydrogen in the decarbonization of the EU economy, as an example showing the advantages of hydrogen as an energy carrier for the simultaneous decarbonization of the transport, housing, commercial and industrial sectors, and also having synergies with other alternatives with low carbon emissions and which can provide a more cost-effective transition to decarbonized and environmentally friendly energy system It is analyzed decarbonizing way of China and the United States, as the largest pollutants of carbon dioxide.

1. Выбросы углекислого газа достигнут в этом году рекордных объемов.-7 дек. 2018 г. Электронный ресурс.- Режим доступа: <https://hightech.plus/.../vibrosi-uglekislogo-gaza-dostignut-v-etom-godu-rekordnih-o>
2. The Paris Agreement | UNFCCC. Электронный ресурс.- Режим доступа: <https://unfccc.int/...meetings/...agreement/the-paris-agreemen...>
3. Hydrogen roadmap Europe. Электронный ресурс. - Режим доступа: https://fch.europa.eu/.../20190206_Hydrogen%20Roadmap...
4. Pathways to deep decarbonization in China. 2015 report. Электронный ресурс.- Режим доступа: http://deepdecarbonization.org/wp-content/uploads/2015/09/DDPP_CHN.pdf
5. Pathways to deep decarbonization in United States. US 2050 Report. Электронный ресурс.- Режим доступа: <http://unsdsn.org/wp-content/uploads/2014/09/US-Deep-Decarbonization-Report.pdf>