

МЕЖДУНАРОДНЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

С.И. Рекорд,

зав. кафедрой мировой экономики и международных экономических отношений
Санкт-Петербургского государственного экономического университета,
доктор экономических наук, профессор
rsofiya@mail.ru

Д.В. Куликов,

магистрант программы «Международная экономика»
Санкт-Петербургского государственного экономического университета

Статья посвящена анализу перспектив декарбонизации мировой энергетики, в первую очередь — за счет развития водородного топлива в качестве частичного заменителя природного газа. В общем виде предложена модель замещения природного газа водородным топливом, выделен механизм реализации энергоресурса и соответствующая ему цепочка ценности с учетом ряда допущений и обобщений.

Ключевые слова: международная энергетика, декарбонизация, технико-экономическая модель, водородное топливо, природный газ

УДК 339.944.2 ББК 65.5

В условиях трансформации мирового энергетического сектора и энергетических рынков, а также растущей конкурентной борьбы на уровне компаний и национальных экономик, обостряется научно-практическая дискуссия об источниках эффективности производства и потребления, в том числе и в первую очередь — генерации и потребления энергии. Одним из направлений повышения эффективности потребления энергоресурсов и устойчивого развития является тренд на декарбонизацию, что подразумевает переход от традиционных ископаемых видов энергоресурсов к более современным. Однако с учётом всеобщей индустриализации и развития достаточно энергоёмких новых технологий, такой переход необходимо осуществлять лишь при условии сохранения существующей энергоэффективности.

Сама концепция декарбонизации лежит в основе развития т.н. «зелёной экономики», т.е. перехода от «грязных» источников энергии (в основном ископаемых и невозобновляемых) к «чистым» (в большей мере возобновляемым). Декарбонизация как термин, вышедший из сферы технических наук, получил своё распространение, в частности, в отчётах коллаборации энергетических исследований «The Deep Decarbonization Pathways Project» [11], в которую входят исследовательские группы из 16 стран, включая Российскую Федерацию. Вопрос декарбонизации также поднимался и Полом Кругманом в своей заметке «Земля, ветер и лжецы» [2], и в статье-ответе на неё «Декарбонизация: Это не так просто» (Даниэль Райми, Алан Крупник) [1]. Также необходимо отметить демонстрационные проекты по развитию автомобильных двигателей на водородном топливе, в частности, Japan Hydrogen and Fuel Cell Demonstration Project, реализованный при финансовой поддержке Министерства экономики, торговли и промышленности Японии еще в 2002–2010 гг. с участием 22 международных корпораций, в том числе автомобильных компаний (Toyota Motor Corporation, Nissan Motor Co., Ltd., Honda Motor Co., Ltd., Mercedes-Benz Japan Co., Ltd., General Motors Japan Ltd. и др.), каждая из которых разработала собственный проект водородного или гибридного двигателя (всего 11 прототипов автомобилей), а также компаний, вовлеченных в строительство водородных заправочных станций и энергетических компаний.

Согласно обзору Forbes, автомобили на водородных топливных элементах уже выпустили на рынок Honda, Toyota, Hyundai и ряд китайских компаний. Целевое видение международного консорциума Hydrogen Council, основанного в Давосе в 2017 году крупнейшими отраслевыми компаниями под председательством Toyota, — более 400 млн легковых машин, 15–20 млн грузовиков, 5 млн автобусов на водороде к 2050 году (т.е. около 20–25% от общего количества) [18]. Также перспективна и технология стационарных водородных топливных элементов, с помощью которых можно отапливать помещения. Хотя стоимость электроэнергии,

полученной таким способом, еще довольно высока, технологии всех ВИЭ постепенно удешевляются благодаря массовости производства и, соответственно, его стандартизации.

1. Моделирование расчёта отношения цен на заменяемое и замещающее топливо (природный газ и водород)

Можно сказать, что полная декарбонизация, т.е. сведение содержания карбона к нулю, приведёт к соответственной замене природного газа на водородное топливо. Однако, к каким последствиям может привести такая замена с экономической точки зрения для потребителей и производителей, или же, упрощая, какая цена может установиться на водородное топливо?

Для разработки этого вопроса установим следующую задачу: некоторый рынок обеспечивает потребителей энергоресурсом А. В определённый момент этот энергоресурс необходимо заменить альтернативным ему энергоресурсом В. Какая должна установиться цена на энергоресурс В при сохранении удовлетворения потребностей потребителей?

К этой задаче необходимо сделать также ряд допущений и обобщений:

- Весь объём реализуемого энергоресурса потребители используют для производства электроэнергии для своих нужд;
- Установка по переработке энергоресурса представляет собой «чёрный ящик», генерирующий некоторое количество электроэнергии при подаче в него некоторого количества энергоресурса;
- Энергопотери при транспортировке электроэнергии можно пренебречь;
- На рынке установилась некоторая цена РА на энергоресурс А, и она является константой.

Итак, для сохранения равновесия рассмотрим два одновременных акта покупки-продажи энергоресурса А и энергоресурса В. Необходимо, чтобы отдача при покупке этих товаров была одинаковой, для этого определим удельную полезность от употребления данных товаров. Такую полезность, в связи с принятым допущением по использованию энергоресурсов, можно свести к величине мощности за единицу валюты (Вт/\$), либо же к обратной величине — стоимости 1 ватта энергии. Чтобы выразить эту величину, воспользуемся базовыми формулами и определениями термодинамики:

$$P = \frac{W_n}{t}; \eta = \frac{W_n}{Q_3}; Q_3 = qm; m = \rho V \quad (1)$$

где P — мощность, Вт; W_n — полезная работа установки, т.е. количество энергии, непосредственно сгенерированное установкой, Дж; t — время сгорания энергоресурса, с; Q_3 — теплота полного сгорания газа, Дж; η — коэффициент полезного действия установки; q — удельная теплота сгорания энергоресурса, Дж/кг;

m — совокупная масса энергоресурса, кг; ρ — плотность энергоресурса, кг/м³; V — совокупный объём энергоресурса, м³.

Исходя из этого, выразим стоимость 1 ватта энергии:

$$Pr(W) = \frac{C}{P} = \frac{Ct}{W_n} = \frac{Ct}{Q_n \eta} = \frac{Ct}{q\rho V \eta} \quad (2)$$

$$[Pr(V) = \frac{C}{V}; \beta = (q\rho)^{-1}; \tau = \frac{t}{\eta}]$$

$$Pr(W) = Pr(V)\beta\tau \quad (3)$$

где $Pr(W)$ — цена за ватт энергии, \$/Вт; C — стоимость некоторого объёма сгораемого вещества V , \$; $Pr(V)$ — цена за кубометр сгораемого вещества, \$/м³;

β — коэффициент, характеризующий свойства вещества в процессе его сгорания, м³/Дж, const; τ — коэффициент эффективности установки, с.

Из этой формулы мы имеем, что цена за ватт энергии, помимо исходной стоимости энергоресурса, зависит также от двух коэффициентов β и τ . Физический смысл коэффициента β заключается в объёме вещества, которое необходимо сжечь, чтобы получить 1 джоуль энергии. Этот коэффициент является константой, поскольку его составляющие (плотность ρ и удельная теплота сгорания q) являются константами для каждого определённого вещества:

Таблица 1

Значения коэффициента β и соответствующих его компонентов для различных горючих газов

Вещество	ρ , кг/м ³	q , МДж/кг	β , м ³ /Дж
Водород (H ₂)	0,08987	119,83	9,29E-08
Метан (CH ₄)	0,7168	50	2,79E-08
Этан (C ₂ H ₆)	1,356	47,5	1,55E-08
Пропан (C ₃ H ₈)	2,0037	46,3	1,08E-08
Природный газ	0,8	45	2,78E-08

Источник: составлено на основе справочных материалов сайта Thermal-info.ru

В общем виде при близких значениях мы можем свести весь природный газ к метану (CH₄). В свою очередь, коэффициент эффективности установки τ полностью зависит от параметров принятого нами в допущениях «чёрного ящика» — генератора, при этом t является периодом сгорания энергоресурса (т.е. временем сгорания 1 м³), а η — КПД установки. Поскольку полученные коэффициенты пересчёта сопоставимы, можно в целом сказать о логичности применения данного подхода к формированию модели. Разница между этими коэффициентами в 5% может быть включена в опущенный ранее при расчётах коэффициент τ , характеризующий параметры установки.

К сожалению, в открытом доступе отсутствует информация касательно упомянутых выше параметров для генераторов на водородном топливе, кроме того, даже газотурбинные генераторы имеют различную конфигурацию и, соответственно, различный КПД. Однако специалисты компании Toshiba в своём блоге [13] отмечают, что наиболее распространённой конфигурацией электростанции вообще является тепловая паротурбинная установка, потому в дальнейшем примем, что упомянутые «чёрные ящики» являются установками именно такого типа. Данное допущение необходимо лишь для того, чтобы грубо оценить отношение цен на природный газ и водородное топливо. По материалам специалистов Toshiba имеем примерные значения (табл. 2).

В табл. 2 установка на водородном топливе не представлена в качестве водородной паротурбинной электростанции, поскольку на сегодняшний день наиболее эффективной и экологичной технологией является использование именно водородных топливных элементов [13]. Такие элементы представляют собой в большей части традиционный гальванический элемент, однако вещество, необходимое для генерации энергии, поставляется извне постоянно. Тем не менее, даже такой элемент в рамках нашей модели теоретически можно свести к «чёрному ящику» за исключением прочих. Однако стоит заметить, что при данном условии построенная модель, базирующаяся

на сгорании топлива как затраченной работе, будет неверна и нуждается в доработке.

Таблица 2

Примерные значения коэффициентов полезного действия (КПД) установок генерации электроэнергии [13]

Вид установки	КПД, %
Солнечная электростанция	20–25
Бензиновый двигатель внутреннего сгорания (ДВС)	20–30
Газовая турбина	30–35
Атомная электростанция (АЭС)	33–40
Дизельный ДВС	40–45
Ветрогенератор	40–50
Водородный топливный элемент	50–60
Гидроэлектростанция (ГЭС)	90–95

Итак, базируясь на формуле (3), а также при начальном условии сохранения полезности для потребителя, точнее, при сохранении постоянной цены на ватт генерируемой электроэнергии, имеем соотношение (4):

$$Pr_1(V)\beta_1\tau_1 = Pr_2(V)\beta_2\tau_2 \quad (4)$$

и, следовательно:

$$Pr_2(V) = Pr_1(V) \frac{\beta_1\tau_1}{\beta_2\tau_2} \quad (5)$$

где индексы 1 и 2 указывают, соответственно, на «старый», заменяемый и на «новый», замещающий энергоресурсы.

Исходя из (5) рассчитаем приблизительно соотношение цен, базируясь на двух случаях. Во-первых, мы можем выполнить грубый расчёт при отсутствии данных об установках и их параметрах, то есть принять $\tau_1 = \tau_2$, а именно, что параметры установок равны или относительно сопоставимы. Такое допущение является строго теоретическим, поскольку базируется на отсутствии точных данных о параметрах установок, в связи с чем нижеизложенный результат следует трактовать лишь как фактическое отображение применения модели в некоторой ситуации, где данное допущение является фактом. Исходя из сказанного выше, формула (5) принимает вид:

$$Pr_2(V) = Pr_1(V) \frac{\beta_1}{\beta_2} \quad (6)$$

то есть отношение цен является обратным отношением соответствующих коэффициентов сгорания вещества. Если примем, что метан (CH₄) заменяется водородом (H₂), то по значениям из табл. 1 имеем, что

$$Pr_2(V) \approx 0,3 Pr_1(V)$$

Второй случай предполагает, что нам известны параметры установок. Однако в данном конкретном случае в открытом доступе не имеется данных о периоде сгорания кубометра энергоресурса. Данный показатель, как было сказано ранее, достаточно сильно зависит от конфигурации установки. В рамках грубого расчёта соотношения цен данными компонентами можно пренебречь, а, точнее, принять, что $\tau_1 = \tau_2$. Следовательно, формула (5) принимает вид:

$$Pr_2(V) = Pr_1(V) \frac{\beta_1\eta_2}{\beta_2\eta_1} \quad (7)$$

то есть соотношение из (6) дополняется отношением КПД установок. И, если применить это к численному результату из (6) с учётом усреднённых данных табл. 3, имеем:

$$Pr_2(V) \approx 0,515 Pr_1(V)$$

Как мы видим, получившиеся результаты в приведённых двух случаях достаточно отличаются: цена водородного топлива при расчёте с учётом КПД установок выше, чем при расчёте без учёта последнего. Однако полученные результаты свидетельствуют о том, что цена на водородное топливо без учёта издержек должна быть существенно ниже, чем на природный газ (примерно в 2–3 раза).

В любом случае, анализируя компоненты модели и сопоставляя их с полученными численными результатами, можно отметить, что, при сравнении только физических свойств энергоносителей, цена на замещающее топливо будет тем выше, чем выше произведение значений его плотности и удельной теплоты сгорания по отношению к производству аналогичных значений у заменяемого топлива. Так как такое произведение у водорода ниже, чем у метана (по причине меньшей плотности водорода, при этом разница в энергоёмкостях существенно меньше), следовательно, цена водородного топлива, согласно модели, должна быть меньше, чем цена метанового топлива.

Однако данное соотношение не является полностью верным, поскольку не включает в себя компоненту параметров установки. Если рассматривать только отношение таких параметров (представив, к примеру, что при одном и том же топливе происходит замена топливных генераторов), то цена должна быть тем выше, чем выше КПД замещающей установки по отношению к КПД заменяемой установки, и одновременно с этим скорость переработки топлива в энергию такой установки должна быть также выше (в рамках модели — ниже период переработки). Поэтому во втором случае расчётов (с учётом разницы в КПД установок) отношение цен выше, чем в первом случае (без учёта), поскольку КПД водородного генератора по имеющимся данным выше, чем КПД метанового.

2. Выработка положений по оценке отношения производства замещающего топлива по сравнению с заменяемым

Несмотря на то, что в рамках описанной ранее задачи опускались приоритеты и издержки производителя, это является немаловажным ценообразующим фактором. Поэтому полученная модель нуждается в доработке также и с этой точки зрения.

Расширим модель автономного рынка путём введения внешнего продавца-монополиста, который поставляет свою продукцию на данный рынок. В первую очередь, стоит указать механизм поставки и переработки энергоресурсов: мы предполагаем в рамках новой модели, что продавец поставляет не чистую электроэнергию, а конкретно энергоресурс, который уже внутренними потребителями преобразуется в электроэнергию в определённых установках — «чёрных ящиках». Кроме того, стоит уточнить одно из допущений исходной модели, отметив, что производитель продаёт энергоресурс только тем потребителям, которые используют его для генерации электроэнергии. Такую модель можно представить схематически (рис. 1).

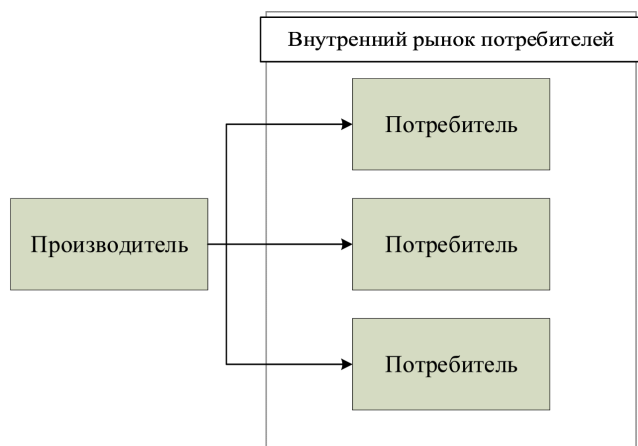


Рис. 1. Механизм сбыта энергоресурсов в предлагаемой модели

Подобный механизм на практике (с частичным учётом принятого допущения) лежит в основе проекта компаний Equinor и Northern Gas Networks по снабжению Северной Англии (как региона Великобритании) декарбонизированным топливом [3] [12]. Equinor совместно с NGN обеспечивает постройку и функционирование инфраструктурной цепи для экспорта водородного и водород-метанового топлива к потребителям

Северной Англии. Одновременно с этим инфраструктура по переработке и внутреннему пользованию энергоресурса, а также хранилища полностью находятся на территории и в ведении Соединённого Королевства.

Исходя из дополненной модели, мы будем в дальнейшем обращаться к формуле (4) при упоминании установившейся цены на водородное топливо по сравнению с природным газом/метановым топливом.

Добавим к исходной задаче условие сохранения прибыли производителя, то есть $\Pi_1 = \Pi_2$. Тогда имеем, что:

$$\Pr(V)_1 V_1 - TC_1 = \Pr(V)_2 V_2 - TC_2 \tag{8}$$

где V — объём поставляемой продукции, м³;

TC — совокупные издержки на производство и реализацию энергоресурса.

Совокупные издержки TC в общем случае являются суммой постоянных издержек C_{const} и переменных издержек C_{var} . Однако с учётом фактора внешнеэкономических операций необходимо учитывать также показатель транзакционных и экспортных издержек, который в совокупности можно выразить как $E = C_{exp} + C_{trans} = f_{\gamma}(\dots)$, то есть сумма упомянутых издержек.

Сложность применения последней формулы для различных видов продукции заключается в том, что γ сводится, в основном, к некоторому набору условий, по которому, например, взимается таможенная пошлина. Однако, поскольку и первый, и второй энергоресурсы являются сырьевыми товарами, в их отношении применяется специфическая пошлина, т.е. некоторая сумма за единицу товара, следовательно, $E = \gamma V$, где γ — ставка специфической пошлины.

Примем также, что величина постоянных издержек является константой для производства обоих энергоресурсов, и, если принять отношение цен как некую величину θ , можем преобразовать:

$$\Pr_1(V) \cdot (V_1 - \theta V_2) = [C_{v1}(V_1) - C_{v2}(V_2)] + [\gamma_1 V_1 - \gamma_2 V_2] \tag{9}$$

$$\Pr_1(V) V_1 - C_{v1}(V_1) - \gamma_1 V_1 = \Pr_1(V) \theta V_2 - C_{v2}(V_2) - \gamma_2 V_2$$

и при упрощении $C_{var}(V) = C_{var} V$ имеем:

$$V_2 = V_1 \frac{\Pr_1(V) - C_{v1} - \gamma_1}{\theta \Pr_1(V) - C_{v2} - \gamma_2} \tag{10}$$

Стоит отметить, что при сведении одной из $C_{var}(V)$ к более сложной функции формула (10) не является верной, а потому следует проводить дальнейшие выводы из равенства (9).

Кроме того, известно, что фактически в целях поощрения замены традиционного метанового топлива декарбонизированным водородным большая часть европейских стран ввела санкции на выброс CO₂ в атмосферу, а также установила ряд предпочтений по внедрению и использованию «зелёных» источников энергии [12]. Из этого следует, что показатель γ необходимо представить в виде:

$$\gamma = C_{Exp} + C_{Em}(Q_{Em}) - R_{pref} \tag{11}$$

где C_{Exp} — совокупная ставка специфической таможенной пошлины; $C_{Em}(Q_{Em})$ — ставка налога на выброс CO₂ в атмосферу по количеству выброса Q_{Em} ; R_{pref} — ставка специфического субсидирования и действующих предпочтений.

Исходя из этого, можно сразу отметить, что для заменяемого энергоресурса ставка специфического субсидирования и действующих предпочтений будет равняться нулю, а для замещающего — напротив, ставка налога на выброс CO₂ в связи с отсутствием последнего. При этом величина Q_{Em} прямо зависит от величины V , т.е. объёма реализуемого энергоресурса. Если принять и метан как сгораемое вещество, и углекислый газ за идеальные газы, то их объёмы будут численно равны ($Q_{Em} = V$).

Ещё одним фактором, косвенно подтверждающим выбор используемого механизма внешнеэкономической реализации, является само существование ставки налога на выброс углекислого газа. Допустим, что при всех текущих условиях производитель поставляет только природный газ, процесс производства

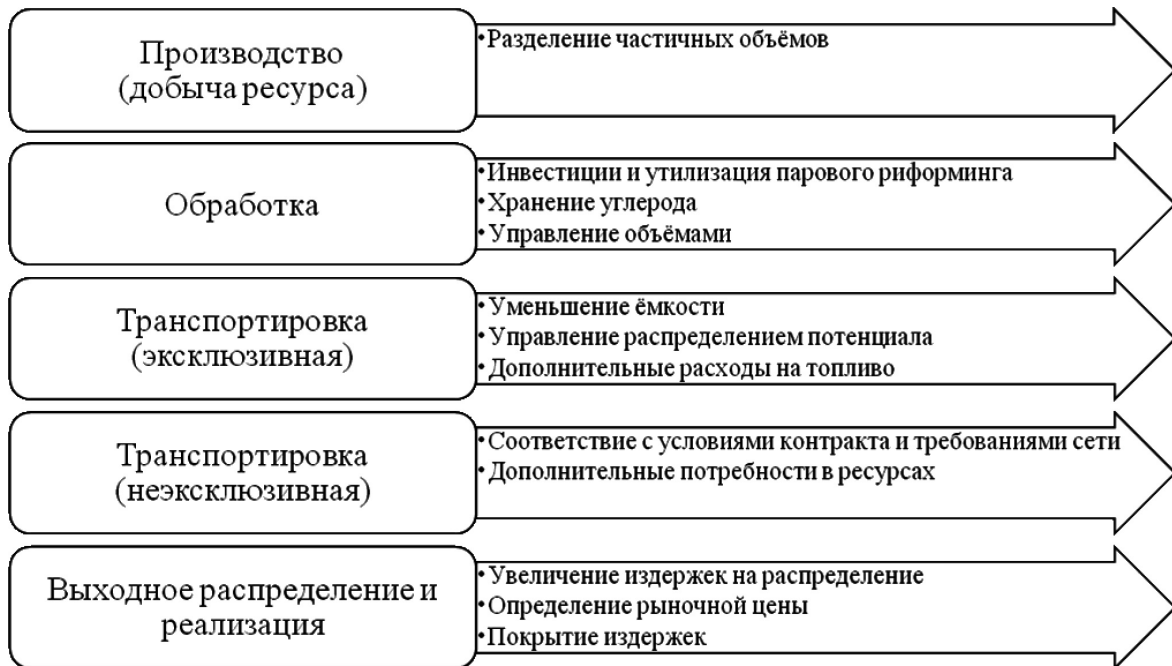


Рис. 2. Цепочка ценности для замещающего энергоресурса [10]

водородного топлива ограничен паровым риформингом, и этот процесс осуществляют сами потребители. В этом случае в стоимость водородного топлива должна включаться ставка налога на выброс в связи с переработкой природного газа в водородное топливо. Если производитель сам проводит процесс риформинга для выработки водородного топлива, то при условии равенства ставок налога на выброс как на внутреннем рынке потребителя, так и на внутреннем рынке производителя безразлично местоположение совершения процессов переработки в водородное топливо. Однако, если ставка налога на выброс на рынке производителя меньше аналогичной либо вообще отсутствует, то производителю более выгодно для минимизации собственных издержек производить процесс переработки самостоятельно.

Упомянутое выше ограничение производственного процесса необходимо для сравнения совокупных издержек производства и реализации водородного топлива. В реальности же процесс производства водородного топлива не ограничивается паровым риформингом, известен также и распространён процесс электролиза воды с её расщеплением на водород и кислород. Однако, по мнению экспертов исследовательской группы Беркли, риформинг является более рентабельным и эффективным способом получения водородного топлива, нежели гидролиз [10].

Развивая данную идею механизма, необходимо также смоделировать цепочку ценности для дальнейшего применения базиса дополненной модели в прикладных стратегических целях (рис. 2).

На рис.2 представлена цепочка ценности для замещающего энергоресурса, однако предполагается, что и для заменяемого энергоресурса такая цепочка будет выглядеть аналогичным образом, отличаясь лишь отдельными этапами производства.

Стоит отметить, что, исходя из представленной цепочки ценности, кроме указанных в модели выше обобщённых показателей постоянных, переменных и экспортно-реализационных издержек, необходимо также учитывать ряд иных издержек и условий. В целом существование и применение ряда условий взимания издержек можно выделить в качестве следующих положений:

- различные государства и рынки подразумевают различные методы и величины взимания налогов и пошлин, а также

субсидирования и предоставления преференций на внешне-экономическую деятельность;

- все издержки, связанные непосредственно с процессом производства и транспортировки энергоресурса, зависящие от его объёма, можно выразить как некоторую функцию $Cvar$, причём эта функция в конкретных случаях может быть сведена к соответствующему коэффициенту;

- все издержки, связанные с процессами реализации, оформления, растаможивания и прочих сопутствующих действий и мер можно выразить как некоторую функцию E , причём если такие издержки зависят в целом от объёма реализуемого энергоресурса, то эта функция может быть в конкретных случаях сведена к коэффициенту γ ;

- функция транзакционных и экспортных издержек E формируется для каждого конкретного случая согласно действующих международных нормативно-правовых актов, а также внутреннего законодательства, регулирующего данные издержки.

Таким образом, базируясь на указанных положениях, можно расширять и дополнять модель, представленную выше. Кроме того, для каждого конкретного случая можно вывести конкретную частную модель, которая может существовать в статике с учётом сохранения равновесия на рынке. В целом, при рассмотрении процесса замены одного энергоресурса другим с позиции производителя был выделен механизм реализации энергоресурса и соответствующая ему цепочка ценности, при этом последние при замене метана на водород не изменяются. С учётом этого механизма была также выстроена теоретическая модель определения объёмов производства замещающего энергоресурса, однако такая модель может использоваться при наличии ряда допущений и ограничений.

Тем не менее, представленная модель является лишь базисом, на основании которого возможно сформировать более частные модели, поскольку в частных случаях различные составляющие базисной модели могут иметь различный вид и методы расчёта и/или определения. С учётом этого был сформулирован также ряд положений, которые позволят в перспективе вывести более общую модель на основе представленной базисной, а также ряд частных моделей, ограничения которых описаны теоретически в упомянутых положениях.

Литература

1. Raimi Daniel, Krupnik Alan. Decarbonization: It Ain't That Easy; Resources, 20 Apr. 2018 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.resourcesmag.org/common-resources/decarbonization-it-aint-that-easy/>; (дата обращения: 04.04.2019 г.)

2. Krugman Paul. Earth, Wind and Liars. The New York Times, 14 Apr. 2018 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nytimes.com/2018/04/16/opinion/trump-energy-environment.html> (дата обращения: 04.04.2019 г.)

3. Proposal to use hydrogen to decarbonise homes in northern England, Equinor, 23 Nov. 2018 Project [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.equinor.com/en/news/2018-11-23-hydrogen-northern-england.html>; (дата обращения: 04.02.2019 г.).
4. Review on Opportunities and Difficulties with HCNG as a Future Fuel for Internal Combustion Engine, article by Priyanka Goyal and S.K. Sharma, Amity University, Noida, "Research India Publications" [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ripublication.com/aasa-spl/aasav4n1spl_13.pdf; (дата обращения: 03.03.2019 г.).
5. Заглавы «Газпрома» предложил смешивать природный газ с водородом, статья портала РБК, 05.10.2018 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rbc.ru/economics/05/10/2018/5bb7433f9a7947cef31efe22> (дата обращения: 06.03.2019 г.).
6. Henry Hub Natural Gas Futures Quotes, CME Group. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cmegroup.com/trading/energy/natural-gas/natural-gas.html>; (дата обращения: 13.04.2019 г.)
7. Hydrogen Fuel Cell Vehicles; article by United States Environmental Protection Agency (эл. ресурс: <https://www.epa.gov/greenvehicles/hydrogen-fuel-cell-vehicles>); (дата обращения: 05.03.2019 г.).
8. Hydrogen-based energy conversion; report by A.T.Kearney, Energy Transition Institute, Feb. 2014. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.energy-transition-institute.com/_media/Files/ETI/Hydrogen%20Based%20Energy%20Conversion%20Presentation.pdf; (дата обращения: 08.04.2019 г.).
9. Доклад г-на Клауса Бергшнейдера «Decarbonization. Implications of Hydrogen on Contracts», «Энергетика XXI века», 15 ноября 2018 г. (в т.ч. эл. ресурс: http://en.unecon.ru/sites/default/files/en/clauss_bergschneider_cbc_consultingengineering_gmbh.pdf).
10. Доклад г-на Марка Джеймса «Decarbonization of Natural Gas», «Энергетика XXI века», 14 ноября 2018 г. (в т.ч. эл. ресурс: http://en.unecon.ru/sites/default/files/en/mark_james_berkeley_research_group_uk_ltd_0.pdf).
11. Материала сайта проекта «The Deep Decarbonization Pathways Project» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://deerdecarbonization.org/about/>; (дата обращения: 05.03.2019 г.).
12. Материалы XI международной научной конференции «Энергетика XXI века: экономика, политика, экология» 14–16 ноября 2018 г.
13. Материалы блога компании Toshiba, портал Habr.com, в т.ч. статьи: Паровые турбины: как горячий пар превращается в электричество [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/toshibarus/blog/445556/>; Водородная энергетика: начало большого пути [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/toshibarus/blog/428511/> (дата обращения: 29.03.2019 г.).
14. Материалы сайта компании Grove Hydrogen Automotive [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.grove-auto.com/technology/>; (дата обращения: 18.03.2019 г.).
15. Портал конвертации физических величин «Unit Juggler» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.unitjuggler.com/convert-energy-from-GcmNG-to-Btu.html> (дата обращения: 13.04.2019 г.).
16. Справочные материалы сайта Thermal-info.ru: Удельная теплота сгорания топлива и горючих материалов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.thermalinfo.ru/eto-interesno/udelnaya-teplota-sgoraniya-topliva-i-goryuchih-materialov/>; Плотность газов и паров: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://thermalinfo.ru/svoystva-gazov/gazy-raznye/plotnost-gazov-i-parov> (дата обращения: 20.03.2019 г.).
17. Официальный сайт проекта Japan Hydrogen and Fuel Cell Demonstration Project [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://jari.or.jp> (дата обращения: 17.06.2019 г.).
18. Мельников Ю., Чугунов Д. Водородная экономика: разрушит ли новое топливо «ископаемую» цивилизацию. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.forbes.ru/biznes/358673-vodorodnaya-ekonomika-razrushit-li-novoe-toplivo-iskopaemuuyu-civilizaciyu> (дата обращения: 17.06.2019 г.).

ГЛОБАЛИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ТРАНСФОРМАЦИИ МИРОВОГО РЫНКА ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ

А.Е. Архипов,

*профессор кафедры управления работой флота
Сибирского государственного университета водного транспорта (г. Новосибирск),
доктор экономических наук
archi-197@mail.ru*

С.Н. Масленников,

*зав. кафедрой управления работой флота
Сибирского государственного университета водного транспорта (г. Новосибирск),
кандидат технических наук
s.n.m@bk.ru*

Е.А. Григорьев,

*доцент кафедры экономики предпринимательской деятельности
Сибирского государственного университета водного транспорта (г. Новосибирск),
кандидат экономических наук
e.a.grigorev@mail.ru*

В статье рассматриваются темпы развития и качественные перемены в транспортной инфраструктуре в начале XXI века, предопределившие всевозрастающую роль и значение транспортной отрасли в глобальной экономике. Показано значение функции транспорта как важнейшего звена мирохозяйственной системы, развитие которого, как и других средств технической коммуникации, конкретизирует структурную трансформацию глобализированной экономики.

Ключевые слова: транспорт, транспортная инфраструктура, глобализация экономики, туристская отрасль

УДК 656.078 ББК 39

Транспорт — важнейшая составляющая мировой и национальной экономики. Ускорение взаимодействия всех отраслей экономики предопределяет необходимость постоянного раз-

вития и улучшения транспортного сектора. Рост объемов промышленного производства и международной торговли требуют изменений в мировом транспортном секторе, а сам он стано-