

К. Д. Гладких^{1}, А. А. Карташевич¹*

Роль низкоуглеродных источников энергии в региональной модели электропотребления

¹ Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация
*e-mail: kristinagladkih2@gmail.com

Аннотация. Целью исследования является сравнительный анализ электроёмкости ВВП по странам, а также определение вклада низкоуглеродных источников энергии в изменение электрогенерации. Показано, что фактор, отражающий долю электроэнергии, произведенной из низкоуглеродных источников энергии, в общем потреблении энергии (ESres), оказывает большое влияние на изменение электроёмкости ВВП в мире. В крупнейших макрорегионах мира АТР и Европе изменение в производстве электроэнергии из низкоуглеродных источников энергии определяет динамику электроёмкости ВВП. На Ближнем Востоке и в Африке производство электроэнергии из низкоуглеродных источников оказывает наименьшее влияние на электроёмкость ВВП по сравнению с другими источниками энергии, что связано с использованием в энергетике углеводородов из-за наличия большого количества запасов разведанных энергоресурсов.

Ключевые слова: электроёмкость ВВП, низкоуглеродные источники энергии, макрорегионы

K. D. Gladkikh^{1}, A. A. Kartashevich¹*

The role of low-carbon energy sources in the regional model of electricity consumption

¹Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation
*e-mail: kristinagladkih2@gmail.com

Abstract. The purpose of the study is a comparative analysis of the electricity intensity of GDP by country, as well as determining the contribution of low-carbon energy sources to the change in electricity generation. It is shown that the factor reflecting the share of production produced from low-carbon energy sources in total energy consumption (ESres) has a great influence on the change in the electricity intensity of GDP in the world. In the main macro-regions of the world, Asia-Pacific and Europe, the change in the production of electricity from low-carbon energy sources determines the dynamics of the electricity intensity of GDP. In the Middle East and in the predominant production of energy from low-carbon sources, the least impact on the electricity intensity of GDP compared to other energy sources, which is associated with the use of hydrocarbons in the energy sector due to the presence of a large amount of proven energy resources.

Keywords: electricity intensity of GDP, low-carbon energy sources, macro-regions

Введение

Современная глобальная тенденция стран к низкоуглеродной трансформации обуславливает рост электрификации экономики. При выработке электроэнергии можно выбирать различные источники энергии и тем самым снижать выбросы углекислого газа, увеличивая долю альтернативных источников энергии в совокупной структуре потребления энергоресурсов.

При столкновении с постоянно растущим глобальным спросом на электроэнергию и негативными последствиями чрезмерного потребления ископаемой энергии, государствам приходится управлять доступными энергетическими ресурсами для достижения баланса в потреблении и производстве. При этом возникает потребность в создании эффективной модели экономического роста, основанной на использовании возобновляемой энергии и устойчивого развития. Однако при внедрении альтернативных источников энергии в производство электроэнергии возникает необходимость привлечения значительных финансовых вложений и инновационного потенциала. В связи с этим, проблема внедрения низкоуглеродных источников энергии и влияние их использования на электроёмкость ВВП приобретает высокую актуальность [1].

Исследованием вопроса о роли низкоуглеродных источников энергии в электрификации экономики занимались как отечественные, так и зарубежные учёные. Теоретическую и методическую основу исследования о вкладе альтернативных источников составили работы ведущих специалистов (Головин М.С., Балашов М.М., Зимаков А.В., S. Shakyu, Debin F, Deichmann U. и др.) [2-7].

Целью исследования является сравнительный анализ электроёмкости ВВП по странам, а также определение вклада низкоуглеродных источников энергии в изменение электрогенерации.

В соответствии с целью были поставлены и решены следующие задачи:

1. Анализ теоретических и методических основ электроёмкости ВВП и её влияния на экономику.
2. Построение модели, позволяющей оценить влияние разных факторов на электроёмкость ВВП, их анализ и оценка.
3. Получение количественных оценок степени влияния выбранных факторов на электроёмкость ВВП с использованием метода LMDI.
4. Формирование выводов о влиянии разных видов энергоносителей при производстве электроэнергии.

Методы и материалы

Для проведения анализа влияния различных показателей на изменение электроёмкости ВВП автором был применён метод среднелогарифмического индекса Дивизиа (LMDI). Для реализации исследования был составлен следующий алгоритм:

1. Выбор факторов, влияющих на изменение электроёмкости ВВП.

Автором был проведён анализ влияния различных факторов на электроёмкости ВВП и выбрано 4 фактора, оказывающих наибольшее влияние, на основе углубленного изучения отечественных и зарубежных литературных источников:

ES_{ij} – доля электроэнергии от i -го источника топлива в общем потреблении энергии в стране j ,

ES_{coal_j} – доля электроэнергии от угля в общем потреблении энергии в стране j ,

ES_{oil_j} – доля электроэнергии от нефти в общем потреблении энергии в стране j ,

$ESgas_j$ – доля электроэнергии от газа в общем потреблении энергии в стране j ,

$ESres_j$ – доля электроэнергии от низкоуглеродных источников энергии в общем потреблении энергии в стране j ,

EC_j – первичное потребление энергии на электрифицированное население в стране j ,

IN_j – уровень доступа к электроэнергии населения в стране j (EA_j), обратное влияние уровня доходов населения в стране j (IN_j).

Особый интерес представляют факторы энергетического равенства населения, отражающие степень электрификации населения и уровень доходов населения.

2. Сбор информации, необходимой для проведения исследования.

Для проведения расчётов автором была собрана база данных статистической информации: Our World in Data и The World Bank.

База данных составлена по 79 странам за период 2012-2021 гг. Для исследования электроёмкости ВВП на региональном уровне страны были объединены в 7 макрорегионов мира: Северная Америка, Центральная и Южная Америка, Европа, Содружество Независимых Государств (СНГ), Ближний Восток, Африка, Азиатско-Тихоокеанский регион (АТР).

3. Построение модели на основе метода LMDI.

Для оценки степени воздействия описанных выше факторов на изменение уровня электроёмкости ВВП за определенные периоды времени была составлена следующая модель:

$$\frac{El_j}{GDP_j} = \sum_{i,j} \frac{El_{i,j}}{En_j} \times \frac{En_j}{PopEl_j} \times \frac{PopEl_j}{Pop_j} \times \frac{Pop_j}{GDP_j} \quad (1)$$

$$E_j = \sum_{i,j} ES_{ij} \times EC_j \times EA_j \times IN_j \quad (2)$$

4. Количественное определение влияния факторов на изменение электроёмкости ВВП.

Для каждой из рассматриваемых стран, а также для каждого из выделенных макрорегионов мира был произведен расчет воздействия факторов. При этом временной интервал 2012-2021 гг. был разделен на 9 временных промежутков, для которых расчеты проводились отдельно.

Разложение электроёмкости ВВП по заданным факторам в модели отражает вклад каждого из них и представляется в виде равенства (3):

$$\Delta E_j = E_j^t - E_j^{t-1} = \Delta E_j(SE_j) + \Delta E_j(EC_j) + \Delta E_j(EA_j) + \Delta E_j(IN_j) \quad (3)$$

Оценки, необходимые для разложения исследуемого параметра по факторам, рассчитываются по формулам (4):

$$\Delta E_j(SE_{ij}) = \frac{E_j^t - E_j^{t-1}}{\ln(E_j^t) - \ln(E_j^{t-1})} \times \ln \frac{SE_{ij}^t}{SE_{ij}^{t-1}} \quad (4)$$

Аналогичным образом были рассчитаны оценки для других анализируемых в работе показателей.

Для более полного анализа следующим шагом была произведена оценка степени воздействия параметров El_{ij} , En_j , $PopEl_j$, Pop_j , GDP_j на каждого из факторов SE_{ij} , ES_j , EA_j , IN_j по аналогии с расчетами, описанными ранее.

5. Анализ и интерпретация полученных в ходе расчётов значений.

На основе проведенных расчетов был определен вклад каждого из параметров в электроёмкость ВВП, а также проанализирована динамика изменения влияния факторов на анализируемый показатель.

Результаты и обсуждение

Электроёмкость ВВП в мире в 2021 г. составила 214,69 кВт·ч/тыс. долл, что ниже значения 2020 г. на 0,53 кВт·ч/тыс. долл. или 0,25%.

Наибольшая электроёмкость ВВП в 2021 г. наблюдается в странах СНГ, АТР и Ближнего Востока и составляет 266 кВт·ч/тыс. долл., 254 кВт·ч/тыс. долл. и 226 кВт·ч/тыс. долл. соответственно.

За период 2020-2021 г. основной вклад в изменение электроёмкости ВВП в мире вносил фактор IN. Воздействием фактора обуславливается снижение электроёмкости ВВП на 11 кВт·ч/тыс. долл. Вторым весомым фактором является ES, которым объясняется рост электроёмкости ВВП на 10,2 кВт·ч/тыс. долл. Наименьший вклад в мире вносит фактор EA, что связано с достаточно высоким уровнем электрификации по миру в целом. Фактором, отражающим долю электроэнергии в общем потреблении энергии (ES), обуславливается рост электроёмкости ВВП на 0,3 кВт·ч/тыс. долл. При более подробном анализе структуры электроэнергетики за период 2020-2021 гг. становится ясно, что наибольшее влияние на изменение электроёмкости ВВП оказывает производство электроэнергии из угля и газа. Низкоуглеродные источники энергии способствовали снижению электроёмкости ВВП на 0,31 кВт·ч/тыс. долл., что может быть связано с тем, что темп прироста ВВП выше темпа прироста производства электроэнергии из низкоуглеродных источников.

На рассматриваемом интервале времени с 2012 по 2021 гг. вторым по степени влияния зачастую оказывался фактор ES (в следующих временных промежутках: 2012-2013 гг., 2013-2014 гг., 2015-2016 гг., 2016-2017 гг.).

Общемировая ситуация показывает, что фактор ES в каждом интервале времени способствует росту электроёмкости ВВП. Действительно, увеличение производства электроэнергии из разных источников энергии приведет к повышению электроёмкости ВВП (темпы прироста производства электроэнергии в каждом интервале времени превышают темпы прироста потребления первичных источников энергии). В 6 из 9 рассматриваемых промежутках времени наибольшее воздействие на электроёмкость ВВП приходится на фактор ESres, в остальных промежутках времени лидирует влияние фактора EScoal (табл. 1).

Динамика изменения факторов в АТР, Европе и мире в целом

составлено автором на основе расчётов

АТР									
	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2019-2021
EScoal	7,02*	2,50	-4,54*	2,09	3,31	4,24*	-1,57	1,06	2,59
ESoil	-1,60	-1,29	-0,39	-0,28	-0,94	-0,58	-0,91	-0,19	-0,11
ESgas	-0,53	0,61	-0,43	0,89	-0,33	-0,54	-0,49	-0,24	-1,16
ESres	2,55	5,56*	3,30	3,66*	3,71*	3,81	4,62*	5,41*	2,98*
ES	7,44	7,37	-2,06	6,36	5,75	6,93	1,65	6,03	4,30
Европа									
	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2019-2021
EScoal	-0,87	-1,19	-1,42*	-3,31	-1,62	-1,38	-5,51*	-2,30	1,59
ESoil	-0,29	0,21	0,09	-0,01	-0,15	-0,18	-0,29	0,20	-0,18
ESgas	-2,89	-0,68	0,38	3,82*	2,42*	-2,34	1,91	1,13	-0,66
ESres	4,15*	4,82*	1,05	-1,06	-0,13	3,25*	3,80	7,13*	-2,56*
ES	0,09	3,16	0,10	-0,56	0,52	-0,64	-0,10	6,16	-1,81
МИР									
	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2019-2021
EScoal	2,96*	0,88	-3,95*	-0,64	1,06	1,06	-2,65	0,11	2,54*
ESoil	-0,52	-0,63	-0,05	-0,64	-0,85	-0,74	-0,57	0,08	0,10
ESgas	-1,89	0,87	2,67	1,61	0,07	0,43	1,01	1,31	-2,03
ESres	1,84	2,48*	1,81	2,28*	2,16*	1,84*	3,10*	6,25*	-0,31
ES	2,40	3,60	0,48	2,61	2,44	2,60	0,90	7,75	0,30

* – наибольшее по модулю влияние на электроёмкость ВВП на рассматриваемом интервале времени

В странах Южной и Центральной Америки, Европы, СНГ, АТР в большинстве рассматриваемых периодов использование низкоуглеродных источников энергии при производстве электроэнергии оказывает наибольшее влияние на электроёмкость ВВП. В странах Ближнего Востока и Африки наибольшим воздействием на всех интервалах времени обладают традиционные источники энергии. В странах Северной Америки воздействие факторов в разных промежутках времени неоднозначно.

Такие группы стран, как Европа и АТР, являются наиболее крупными макрорегионами мира, на них приходится 50 стран из 79 рассматриваемых. Соответственно, динамика изменения факторов в этих регионах может в определяющей степени влиять на изменение факторов в мире в целом.

При анализе динамики изменения степени влияния факторов в АТР во времени видно, что во всех рассматриваемых периодах времени весомым влиянием на электроёмкость ВВП обладает фактор, отражающий структуру энергетики (ES). Подобная ситуация может наблюдаться как результат сильной зависимости

стран региона от импорта углеводородов, которые необходимо заимствовать для удовлетворения постоянно растущих потребностей.

При анализе структуры производства электроэнергии из разных видов источников топлива в странах АТР наибольшим воздействием обладает фактор ESres, который способствует росту электроёмкости ВВП в АТР на 2,98 кВт·ч/тыс. долл. Большее влияние на изменение этого показателя оказывает именно увеличение производства электроэнергии из альтернативных источников. Также высокую значимость имеет фактор EScoal. Подобная ситуация складывается в результате высоких темпов прироста производства электроэнергии из угля и альтернативных источников энергии, составляющих 41% и 124% за период 2012-2021 гг. соответственно. Количество произведенной электроэнергии из нефти в странах АТР снижется высокими темпами. Так, темп прироста этого параметра за период 2012-2021 гг. составил -63%. На основе полученных результатов можно сделать вывод о наметившейся тенденции роста использования альтернативных источников энергии при производстве электроэнергии. Наряду с существенным снижением доли электроэнергии, произведенной из нефти, можно сделать вывод о предпринимаемых действиях государств в сторону повышения энергоэффективности.

Другим крупным регионом и важным для рассмотрения с точки зрения энергетики является Европа. Данный регион занимает небольшую площадь, однако, несмотря на это, отличается большой численностью населения и высокими показателями экономического развития. Здесь потребляется 14% всех первичных источников энергии в мире, производится 14% мировой электроэнергии и 22% всего ВВП.

В странах Европы в 5 из 9 рассматриваемых интервалов времени наибольшее влияние оказывает фактор ESres, что связано с активным внедрением возобновляемых энергоресурсов при производстве электроэнергии. Высокой степенью влияния обладают факторы EScoal и ESgas, ведь уголь и газ также активно используются при производстве электроэнергии. Таким образом, можно сделать вывод о том, что несмотря на высокую популярность угля и газа при производстве электроэнергии в Европе, низкоуглеродные источники энергии распространяются и начинают лидировать по объемам произведенной электроэнергии, а также начинают оказывать наиболее сильное воздействие на изменение электроёмкости ВВП.

Заключение

В ходе исследования было выявлено, что фактор, отражающий структуру производства электроэнергии (ES), оказывает большое воздействие на изменение электроёмкости ВВП в мире. Внутри этого фактора по миру в целом наибольшее воздействие обуславливается производством электроэнергии из возобновляемых источников энергии. В двух крупнейших макрорегионах мира (АТР и Европе), а также в странах СНГ ситуация не противоречит общемировой. В странах Южной и Центральной Америки низкоуглеродные источники электроэнергии всегда являются определяющими при изменении электроёмкости ВВП.

Самый низкий вклад в изменение электроёмкости ВВП среди всех энергоресурсов низкоуглеродные источники оказывают в странах Ближнего Востока и Африки, что связано со спецификой регионов. В странах Северной Америки степень влияния факторов сильно варьируется при изменении временного промежутка.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 22-18-00424 «Формирование портфеля климатических проектов для достижения углеродной нейтральности региона».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матвеев И.Е. Низкоуглеродные источники энергии: теория и практика использования, государственная политика // Формирование экосистемы интеллектуальной собственности. – 2021. – С. 67–69.
2. Головин М.С. и др. Развитие альтернативной энергетики в России в контексте формирования модели низкоуглеродной экономики // Экономика. – 2019. – №4. – С. 122–139.
3. Балашов М.М. Сертификаты возобновляемой энергии: возможности и эффективность применения // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2020. – Т. 11. – № 1. – С. 14–27.
4. Зимаков А.В. Европейские модели экологичной электроэнергетики: состояние и перспективы // Вестник института экономики Российской академии наук. – 2019. – №4. – С. 154–168.
5. Shakya S.R. et al. Energy equity as a major driver of energy intensity in South Asia // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022. – Vol. 170. – Paper 112994. – 8 p.
6. Debin F. et al. Study of the influence mechanism of China's electricity consumption based on multi-period ST-LMDI model // Energy. – 2019. – Vol. 170. – P. 730-743.
7. Deichmann U., Reuter A., Vollmer S., Zhang F. Relationship Between Energy Intensity and Economic Growth: New Evidence from a Multi-country Multi-sector Data Set. – Washington, DC: The World Bank, 2018. – 25 p.

© К. Д. Гладких, А. А. Карташевич, 2023