

УДК 330.44 + 330.131.52  
JEL C53, C67, O13  
DOI 10.25205/2542-0429-2020-20-2-24-49

## **Информационные и методические аспекты моделирования распространения возобновляемой энергетики с использованием ОМММ-ТЭК**

**Н. И. Суслов<sup>1,2</sup>, В. Ф. Бузулуцков<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт экономики  
и организации промышленного производства СО РАН  
Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup> *Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет  
Новосибирск, Россия*

### *Аннотация*

Темой исследования является процесс распространения электрогенерации на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ) в РФ и ее регионах. Цель работы – разработать методику моделирования новых технологий на ВИЭ в начальный период их распространения. Ее применение позволяет оценивать масштабы генерации в регионах с позиций народнохозяйственной эффективности. Методология исследования включает параметрический анализ в среде оптимизационной межотраслевой межрегиональной модели с детализированным блоком ТЭК. Его суть состоит в пошаговом увеличении стоимости новой технологии на ВИЭ в конкурентной среде традиционных технологий до тех пор, пока она не выйдет из оптимального плана. Параметрический процесс предполагает нахождение пороговых значений стоимости технологии на ВИЭ в регионе, после прохождения которых технология резко меняет свою интенсивность (эффективность). Проведен сравнительный ретроспективный анализ динамики распространения технологий на ВИЭ в стране и регионах. Показана важность учета коэффициента использования установленной мощности при моделировании технологий. Описаны формальные процедуры встраивания его в энергетические технологии модели. Траектории интегральных эффектов от распространения технологий на ВИЭ могут быть ранжированы по регионам и использованы для проведения селективной инвестиционной политики со стороны государства. Она должна быть направлена на поддержку развития энергетики на ВИЭ прежде всего в тех регионах, где получен максимальный интегральный эффект.

### *Ключевые слова*

моделирование технологий на ВИЭ, информационный и методический аспекты, ОМММ-ТЭК, параметрический анализ

### *Источник финансирования*

Статья подготовлена в рамках государственного задания по плану НИР ИЭОПП СО РАН, проект XI.172.1.1 «Интеграция и взаимодействие отраслевых систем и рынков в России и ее восточных регионах: ограничения и новые возможности» АААА-А17-117022250132-2

### *Для цитирования*

Суслов Н. И., Бузулуцков В. Ф. Информационные и методические аспекты моделирования распространения возобновляемой энергетики с использованием ОМММ-ТЭК // Мир экономики и управления. 2020. Т. 20, № 2. С. 24–49. DOI 10.25205/2542-0429-2020-20-2-24-49

© Н. И. Суслов, В. Ф. Бузулуцков, 2020

## Information and Methodological Aspects of RES Power Dissemination Simulation Using OMMM-TEK Model

N. I. Suslov<sup>1,2</sup>, V. F. Buzulutskov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS  
Novosibirsk, Russian Federation*

<sup>2</sup> *Novosibirsk State University  
Novosibirsk, Russian Federation*

### Abstract

The research topic is the increasing process of electricity generation based on renewable energy sources (RES) in the Russian Federation and its regions. This paper aims to develop a methodology for modeling new RES technologies in the initial period of their dissemination. Its application allows estimate the scale of energy generation in the regions from the standpoint of national economy efficiency. The research methodology includes the application of parametric analysis in the framework of interregional input-output model of optimization with detailed energy sector. Its essence is to increase step by step the cost of a new RES technology in the competitive environment of traditional technologies until it leaves the optimal plan. The parametric process involves finding the threshold values of the RES technology cost in the region, passing by which the technology changes its intensity (efficiency) dramatically. A comparative retrospective analysis of RES technologies spreading in the country and regions is carried out. It is shown the importance of taking into account the installed capacity utilization factor when modeling technologies. Formal procedures for embedding it in energy technologies of the model are described. The trajectories of integrated effects from spreading of renewable energy technologies, obtained as a result of parametric analysis, can be ranked by region and used for selective investment policy on the part of the state. It should be aimed at supporting the development of energy on RES primarily in those regions where the maximum integral effect is obtained.

### Keywords

simulation of RES technologies, information and methodological aspects, OMMM-TEK, parametric analysis

### Funding

The research was carried out with the state assignment IEIE SB RAS project XI.172.1.1 "Integration and interaction of the sectors systems and markets in Russia and its Eastern regions: restrictions and new opportunities" AAAA-A17-117022250132-2

### For citation

Сулов Н. И., Бузулуцков В. Ф. Информационные и методические аспекты моделирования распространения возобновляемой энергетики с использованием OMMM-ТЭК. *World of Economics and Management*, 2020, vol. 20, no. 2, p. 24–49. (in Russ.) DOI 10.25205/2542-0429-2020-20-2-24-49

## Модельный инструментарий OMMM-ТЭК и режим сценарных расчетов

Проведенные ранее прогнозно-аналитические расчеты с применением инструментария OMMM-ТЭК<sup>1</sup> по оценке эффективности распространения новых технологий в РФ, использующих возобновляемые источники энергии (ВИЭ) [2], когда,

---

<sup>1</sup> Основой для построения Оптимизационной межрегиональной межотраслевой модели с детализированным представлением отраслей ТЭК (OMMM-ТЭК) является «каноническая» OMMM, предложенная академиком А. Г. Гранбергом и развиваемая его школой [1].

с одной стороны, еще не было аккумулировано достаточной информации о конкретных технологиях, а с другой – не выработаны сами приемы моделирования, имели поисковый характер. Результаты расчетов позволили по-иному взглянуть на способы моделирования энергетики в применяемом инструментарии и сконцентрироваться на выработке методических приемов оценки масштабов распространения электрогенерации на ВИЭ в стране и регионах в условиях конкурентной среды.

В настоящее время информационно-программно-модельный комплекс (ИПМК) ОМММ-ТЭК [3] состоит из двух моделей последовательных прогнозных периодов (2008–2020, 2021–2030) и статической модели базового года (2007). Каждая модель включает 45 отраслей и секторов экономики. Региональная структура охватывает шесть регионов РФ, в том числе пять восточных, образующих три федеральных округа (Западная Сибирь, Восточная Сибирь, Тюменская область, Уральский федеральный округ без Тюменской области, Дальневосточный федеральный округ). Остальные регионы страны объединены в один макрорегион – Европейская Россия.

Детализация ТЭК в модели доведена до 8-и продуктов и видов деятельности, включая электрическую и тепловую энергию (с горячей водой). Производство продуктов ТЭК оптимизируется в натуральном и стоимостном разрезах. Выработка энергии представлена двадцатью обобщенными типами энергетических объектов традиционной энергетики (АЭС, ГЭС, КЭС, ТЭЦ, крупные котельные, мелкие котельные, АИТ, электродкотлы, теплоутилизационные установки), а также способом «нетрадиционные источники энергии». Традиционные типы энергетических объектов тепловой энергетики различаются (в том числе) по видам используемого топлива (уголь, газ, мазут). Термин «традиционные» типы в данном случае уместен. Так в появившихся впервые в официальных изданиях Росстата (2016) статистических данных о мощностях и выработке электроэнергии на ВИЭ электростанции данного вида были охарактеризованы как «нетиповые»<sup>2</sup>. В частности, они не включали малые ГЭС, которые Росстат относил к типовым объектам.

Единичным решением прогнозных моделей является вариант развития экономики в последнем году прогнозного периода, включающий производство общественного продукта в разрезе отраслей, регионов и технологических способов, объемы перевозок транспортабельной продукции между регионами по выделяемым видам транспорта, включая электронный, объемы фактического конечного потребления домашних хозяйств, выступающие в качестве показателя роста или снижения эффективности функционирования экономики, объемы инвестиций в основной капитал за последний год и за весь прогнозный период.

При использовании ИПМК ОМММ-ТЭК в режиме сценарных расчетов будем различать ситуационные сценарии, которые отвечают на вопрос «Что будет, если...» и описывают ряд частных изменений в экономической среде, возникающих при вводе в модель технологий на ВИЭ, и народнохозяйственный сценарий (так называемый Центральный вариант), который задает саму эту среду и ее динамику, в рамках которых и моделируются варианты ситуационного сценария. Именно в форме ситуационных сценариев были проведены расчеты по оценке эффектив-

---

<sup>2</sup> Промышленное производство в России. 2016: Стат. сб. / Росстат. М., 2016. С. 215.

ности технологий на ВИЭ, описанные в [2]. Центральный вариант решения модели в этих расчетах отражал «энергосырьевой» народнохозяйственный сценарий, в соответствии с которым в рассматриваемом периоде (2008–2020 гг.) динамично развивались отрасли ТЭК с ясно выраженной экспортной ориентацией.

### Формирование объекта моделирования Информационный аспект

При многолетнем применении ОМММ-ТЭК в исследованиях по оптимизации прогнозных межрегиональных и межотраслевых пропорций развития отраслей ТЭК технологический способ «нетрадиционные источники энергии» выступал как некоторая «обезличенная» технология, основное характерное свойство которой заключалось в «не потреблении» органического топлива. Из-за отсутствия статистических данных о выработке электроэнергии (геотермальной, гелио-, ветровой и т. д.) и предполагаемого незначительного объема суммарной выработки она играла роль «довеска» традиционной энергетики.

Так по оценкам исследователей (сделанным до появления официальных источников) доля ВИЭ в национальном производстве электроэнергии в течение второго десятилетия XXI в. не превышала 1 % [4. С. 80; 5. С. 254]<sup>3</sup>, причем подавляющая часть энергии вырабатывалась малыми ГЭС. Отметим в этой связи, что в ОМММ-ТЭК малые ГЭС были включены в обобщенную технологию традиционной энергетики «ГЭС». После появления официальной статистики по «нетиповым» электростанциям (только в публикациях 2018 г. они обрели свое настоящее название: «работающие от возобновляемых источников энергии»<sup>4</sup>) стала возможной более точная оценка<sup>5</sup> прогресса в развитии этой подотрасли российской энергетики в последние годы. Ее доля увеличилась (с учетом малых ГЭС мощностью до 25 МВт) вдвое от 0,12 % в 2013 г. до 0,24 % в 2018 г. (столбец 9 в табл. 1), или от 1,27 млрд до 2,68 млрд кВтч (строка 5 в табл. 2).

В строках 6–14 табл. 2 приведены объемы производства электроэнергии, получаемой от объектов ВИЭ, рассчитанные как результат перемножения долей энергии этого вида, показанных в табл. 1, и совокупных объемов производства по федеральным округам, взятых из электробалансов Росстата. Если объемные показатели рассматривать в динамике – в виде среднегодового темпа прироста производства электроэнергии на ВИЭ в 2014–2018 гг., то он составит 15,9 %, тогда как в целом в РФ в этом пятилетии производство электроэнергии росло с темпом в 1 % в год.

<sup>3</sup> В [4. С. 80] приводятся исследовательские оценки для 2010–2011 гг. – от 5,9 млрд до 8,4 млрд кВтч, или до 0,8 % от национального производства электроэнергии.

<sup>4</sup> Российский статистический ежегодник. 2018: Стат. сб. / Росстат. М., 2018. С. 361–362.

<sup>5</sup> Мы исходим из двух предпосылок, что, во-первых, официальная статистика по ВИЭ переживает период становления и поэтому оценки Росстата за отдельные годы в региональном разрезе имеют разную степень надежности и, по-видимому, будут пересматриваться, во-вторых, оценки Росстата национального уровня развития ВИЭ являются более надежными, чем оценки отдельных исследователей и исследовательских центров.

Таблица 1

Доля производства электрической энергии генерирующими объектами, функционирующими на основе использования возобновляемых источников энергии, во всем объеме производства электрической энергии по федеральным округам, % \*

Table 1

Share of electric power production by generating facilities, operating on the basis of renewable energy sources, in all electric energy production by federal districts, %

Год	Централь- ный	Северо- Западный	Южный	Северо- Кавказ- ский	Привол- жский	Ураль- ский	Сибир- ский	Дальне- восточ- ный	РФ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2013	0,02	0,29	0,07	1,47	0,02	0,01	–	0,90	0,12
2014	0,02	0,15	0,73	1,06	0,02	0,01	0,01	0,92	0,14
2015	0,01	0,32	1,03	1,71	0,02	0,02	0,01	0,93	0,19
2016	0,01	0,35	1,02	1,62	0,05	0,01	0,02	0,89	0,21
2017	0,02	0,41	1,01	2,08	0,09	0,01	0,02	0,85	0,23
2018	0,01	0,32	0,98	2,37	0,16	0,01	0,04	0,67	0,24

Источники: Росстат. Код доступа: <https://www.gks.ru/folder/11189#>. Дата обращения 14.04.2020.

\* Без учета гидроэлектростанций установленной мощностью свыше 25 МВт и без субъектов малого предпринимательства.

Таблица 2

Производство электрической энергии на основе использования ВИЭ  
в стране и федеральных округах (ФО), млн кВтч

Table 2

Renewable Energy Generation in the Country and Federal Districts (FO), mln kWh

№	Показатель	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	Погрешность расчетов: отношение строки 5 к строке 4, %	-1,31	-2,11	1,81	-1,63	0,23	-0,24
2	РФ, темп прироста к предыдущему году, расчет по строке 4, %		<b>16,4</b>	<b>41,6</b>	<b>9,1</b>	<b>11,9</b>	<b>5,8</b>
3	РФ, темп прироста к предыдущему году, расчет по строке 5, %		<b>17,3</b>	<b>36,1</b>	<b>13,0</b>	<b>9,9</b>	<b>6,3</b>
4	РФ, сумма федеральных округов	1213	1412	2042	2231	2477	2647
5	РФ, расчет по доле в столбце 9 табл. 1	1270	1490	2028	2291	2517	2676
6	Центральный ФО	40	46	23	23	46	22
7	Северо-Западный ФО	326	171	366	425	495	407
8	Южный ФО	40	451	678	740	749	787
10	Северо – Кавказский ФО	336	252	427	442	558	596
11	Приволжский ФО	41	38	37	89	165	308
12	Уральский ФО	20	18	37	19	19	20
13	Сибирский ФО	0	21	21	43	42	81
14	Дальневосточный ФО	450	462	475	472	447	449

Источники: Рассчитано по данным табл. 1 и электробалансам Росстата за соответствующие годы.

Обратившись к далекой аналогии, заметим, что производство электроэнергии на АЭС в СССР в самый бурный период развития подотрасли в 1971–1985 гг. (т. е. до Чернобыльской аварии) увеличивалось со среднегодовым темпом 29,4 против 5 % общего роста, причем по пятилетиям (1971–1975, 1976–1980, 1981–1985) эти темпы составили соответственно 42, 29,3 и 18 %. При такой динамике в 1985 г. в стране было выработано 167,4 млрд кВтч, или 10,8 % от всей произведенной электроэнергии, против 3,5 млрд кВтч в 1970 г.

Исследователями констатируется активный процесс смены энергетической парадигмы в мире с 2000 г. – переход от ориентации на обеспечение доступной энергией от традиционных источников к декарбонизации энергетики за счет усиления роли ВИЭ при параллельном размывании границ топливных рынков [6. С. 161]. Так, доля мощностей распределенной энергетики (ВИЭ, биомасса и проч.) в общей генерации в 2016 г. составила: в мире – 15,9 %, в Европе – 27,5 %, Китае – 18 %, РФ – 1,1 % [6. С. 164]. Ветроэнергетика и солнечная энергетика занимали соответственно первое и второе места по показателю чистого прироста мощностей в Европейском союзе за период 2000–2016 гг., а в мире установленная мощность солнечной энергетики в 2017 г. превысила 400 ГВт, обогнав мощность АЭС [6. С. 165].

Таким образом, действие этой парадигмы в РФ во втором десятилетии XXI в. в силу известных особенностей национальной энергетики оказывается малозаметным. Эти особенности [7; 8] можно в обобщенном виде представить в виде долговременной траектории поступательного развития дополняющей друг друга триады (ТЭС, АЭС, ГЭС): преобладание тепловой газовой энергетики в западных районах страны, почти полное сосредоточение там же атомной энергетики (доля которой в национальном производстве выросла с 10,9 % в 1990 г. до 18,8 % в 2018 г.); преобладание угольной энергетики в восточных районах за Уралом (кроме Тюменской области), сосредоточение крупнейших ГЭС в Сибирском Федеральном округе (44–47 % производства энергии округа в 2014–2016 гг. [5. С. 251]) при средней величине доли ГЭС в национальном производстве энергии в 1990–2018 гг. в 17,7 % с коэффициентом вариации доли 8,2 %.

Следует также учитывать, что, по-видимому, в динамику производства электроэнергии на ВИЭ с 2014 г. привнесен завывшающий ее «геополитический» фактор – воссоединение с Россией Крыма. Так, в строке 8 табл. 2 заметен скачок в производстве электроэнергии в Южном федеральном округе (куда входит Крым) в 2014 г. по сравнению с предыдущим годом от 40 млн до 451 млн кВтч, т. е. на 411 млн кВтч, или на 1023 %. Доля Южного федерального округа возросла сразу в национальном производстве подотрасли с 3 до 31 % и уступала только Дальнему Востоку (32 %) (табл. 3). В последующие годы она колебалась в диапазоне 30–33 % и была наибольшей среди федеральных округов. Рассматривая эти пропорции в разрезе территориальной структуры ОМММ-ТЭК, можно заключить, что в 2013–2018 гг. энергетика на ВИЭ преимущественно развивалась в западных районах страны: их доля возросла на 16,9 п. п. от 62,5 до 79,4 %. В то же время доля восточных районов заметно снижалась за счет Дальнего Востока, где она уменьшилась на 19,1 п. п. с 35,9 до 16,8 % (см. табл. 3).

Региональная структура производства электрической энергии на основе использования ВИЭ, % \*

Таблица 3

Regional structure of electricity production based on RES, %

Table 3

№	Показатель	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	РФ	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
2	Центральный ФО	3,2	3,2	1,1	1,0	1,8	0,8
3	Северо-Западный ФО	26,0	11,7	17,7	18,9	19,6	15,2
4	Южный ФО	3,2	30,9	32,8	32,8	29,7	29,5
5	Северо-Кавказский ФО	26,8	17,3	20,7	19,6	22,1	22,3
6	Приволжский ФО	3,3	2,6	1,8	4,0	6,6	11,5
7	Уральский ФО	1,6	1,3	1,8	0,9	0,8	0,7
8	Сибирский ФО	0,0	1,4	1,0	1,9	1,7	3,0
9	Дальневосточный ФО	35,9	31,7	23,0	20,9	17,7	16,8
10	Итого Европейская Россия (стр. 2–6)	<b>62,5</b>	<b>65,6</b>	<b>74,1</b>	<b>76,3</b>	<b>79,8</b>	<b>79,4</b>
11	Итого восточные регионы (стр. 7–9)	<b>37,5</b>	<b>34,4</b>	<b>25,9</b>	<b>23,7</b>	<b>20,2</b>	<b>20,6</b>

Источники: Рассчитано по данным таблицы 2.

\* Без субъектов малого предпринимательства.

Об уровне сбалансированности показанных в табл. 2 региональных объемов производства электроэнергии говорит строка 1. За счет ошибок округления (и каких-то иных причин) погрешность (по абсолютной величине) между суммой регионов и объемом национального производства, рассчитанным по доле в столбце 9 табл. 1, не превышает 2,1 %, что позволяет судить о тенденциях с достаточной степенью надежности. В строках 2 и 3 табл. 2 эта погрешность выражена в различиях годовых темпах прироста между двумя рассчитанными вариантами национального производства энергии, полученной от ВИЭ. Основной вывод из анализа табл. 2 состоит в том, что при существовании очевидной тенденции относительного быстрого роста производства электроэнергии в национальном масштабе, в региональном разрезе это рост не был устойчивым, а именно, в некоторых федеральных округах в отдельные годы можно было наблюдать отрицательные приросты производства электроэнергии. Ввод новых энергетических объектов не был настолько массовым, чтобы нивелировать неустойчивую работу отдельных объектов.

В табл. 4, составленной по данным Росстата, показана в динамике характерная особенность обобщенной технологии на ВИЭ в сравнении с триадой традиционных технологий – относительно низкий коэффициент использования установленной мощности (КИУМ). За этим стоит ряд факторов, первый из которых – локальный характер ВИЭ, т. е. зависимость функционирования энергетических объектов этого типа (прежде всего СЭС и ВЭС, именно они представлены в табл. 4) от природно-климатических ограничений.

Анализируя таблицу, заметим, что за первые четыре года (2010–2013 гг.) показатели среднегодового числа часов работы электростанций на ВИЭ (столбец 3) не являются информативными из-за сильного округления приводимых Росстатом малых величин объемных показателей, по которым они рассчитываются, и только с 2014 г. наблюдается формирование относительно устойчивого диапазона расчетных значений. Если усредненный в национальном масштабе КИУМ обобщенной технологии каждого типа трактовать как некий показатель производительности технологии, то, приняв за единицу его значение для ВИЭ, получим по соотношению средних величин в табл. 4 превышение для АЭС в 4 раза, для ТЭС – в 2,7 раза, для ГЭС – в 2,4 раза.

В Приложении к Правилам определения цены на мощность генерирующих объектов, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии, утвержденным Правительством РФ (2013, 2018)<sup>6</sup>, приведены нормативы КИУМ (как ориентиры для вводимых в строй генерирующих объектов) по трем типам станций: 0,14 – для СЭС; 0,27 – для ВЭС; 0,38 – для ГЭС. Нормативный КИУМ для малых ГЭС ниже рассчитанного нами эмпирического среднего значения из табл. 4 (0,422). Среднее арифметическое нормативных значений для СЭС и ВЭС (0,205) выше эмпирического значения из табл. 4 (0,178), но если учесть преобладающий ввод солнечных станций в РФ в текущем десятилетии [6. С. 263], то эмпирическая средневзвешенная величина является правдоподобной.

---

<sup>6</sup> Приложение № 1 к Правилам определения цены на мощность генерирующих объектов, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_146916/3829485d43b085818b585d550e94413060e3ca3e/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_146916/3829485d43b085818b585d550e94413060e3ca3e/) (дата обращения 28.02.2020).

Таблица 4

Производство электроэнергии, суммарная установленная мощность  
и среднее число часов работы нетиповых и традиционных объектов энергетики в РФ

Table 4

Power generation, total installed capacity and average number of hours of operation of atypical  
and traditional energy facilities in the Russian Federation

Год	Нетиповые электростанции (работающие от возобновляемых источников энергии) *		ТЭС	ГЭС	АЭС	
	Установленная мощность, МВт	Выработка электроэнергии, млрд кВтч	Рассчитанные значения среднегодового числа часов работы электростанций ** и коэффициентов использования установленной мощности (КИУМ, значения в скобках) ***			
			3	4	5	6
2010	0,1	0,5	5000 (0,571)	4421 (0,505)	3544 (0,405)	7037 (0,803)
2011	0,1	0,5	5000 (0,571)	4442 (0,507)	3474 (0,397)	7119 (0,813)
2012	0,1	0,5	5000 (0,571)	4379 (0,500)	3402 (0,388)	7036 (0,803)
2013	0,1	0,4	4000 (0,457)	4207 (0,480)	3682 (0,420)	6838 (0,781)
2014	0,4	0,7	1750 (0,200)	3941 (0,450)	3445 (0,393)	7154 (0,817)
2015	0,6	0,9	1500 (0,171)	3914 (0,447)	3333 (0,381)	7452 (0,851)

Окончание табл. 4

Год	1	2	3	4	5	6
2016	0,7	1,1	1571 (0,179)	3763 (0,430)	3667 (0,419)	7243 (0,827)
2017	0,7	1,1	1571 (0,179)	3688 (0,421)	3515 (0,401)	7276 (0,831)
2018	0,9125	1,2787	1401 (0,160)	3756 (0,429)	3760 (0,429)	7020 (0,801)
Средняя арифметическая за 1990–2018 гг.				4186 (0,478)	3695 (0,422)	6311 (0,720)
Стандартное отклонение (за 1990–2018 гг.)				414	205	861
Коэффициент вариации, % (за 1990–2018 гг.)				9,9	5,5	13,6
Средняя арифметическая за 2014–2018 гг.			1559 (0,178)			
Стандартное отклонение (за 2014–2018 гг.)			128			
Коэффициент вариации, % (за 2014–2018 гг.)			8,2			

Источники: данные Росстата за соответствующие годы.

\* Без малых ГЭС.

\*\* Среднегодовое число часов работы электростанций данного типа в РФ рассчитано как частное от деления выработки электроэнергии на суммарную установленную мощность этого типа электростанций (см. столбцы 3–6).

\*\*\* КИУМ (см. значения в скобках в столбцах 3–6) рассчитан как частное от деления среднегодового числа часов работы электростанций данного типа на число календарных часов в году.

Принципиальный вывод из анализа таблицы заключается в том, что при моделировании масштабов распространения новых технологий на ВИЭ в условиях конкурентной среды фактор КИУМ должен быть обязательно учтен.

### Моделирование стоимости «новых» энергетических технологий

После анализа официальных данных о масштабах и динамике генерации возобновляемой энергетики рассмотрим методику ее моделирования в ОМММ-ТЭК. Объектом моделирования является некоторая «новая» обобщенная технология, усредняющая различные существующие технологии выработки электроэнергии без использования органического топлива (гео-, гелио-, ветровой энергетики, малых ГЭС и т. д.). Обобщенный технологический способ, характеризуемый капиталоемкостью, трудоемкостью и материалоемкостью, вводится в модель<sup>7</sup> и конкурирует с «традиционными» технологиями производства электроэнергии специфическим образом.

Специфика заключается в применении приемов параметрического анализа, ориентированных на учет фактора неопределенности стоимости внедряемой новой технологии в начальный период ее распространения. Суть параметрического анализа состоит в том, что в данный регион вводится новый способ генерации электроэнергии с некоторым малым (или даже нулевым) уровнем капиталоемкости, а затем в пошаговом режиме осуществляется равномерное наращивание инвестиционных затрат на эту технологию (через изменение параметра капиталоемкости нового технологического способа) до тех пор, пока она не выйдет из оптимального плана как неэффективная с точки зрения народнохозяйственной эффективности. Под последней понимается тот уровень интенсивности функционирования технологии, полученный в оптимальном решении модели на данном шаге возрастания ее текущей стоимости, который отвечает всей совокупности внутрирегиональных и межрегиональных материально-вещественных связей энергетики в среде заданного народнохозяйственного сценария развития экономики.

В соответствии с родовыми свойствами ОМММ число технологических способов, представляющих отрасль в регионе, удваивается в результате разбиения производства на «старые» (действующие) мощности, т. е. введенные до начала данного прогнозного периода и продолжающие в нем действовать (они не могут выпускать продукции больше некоторого уровня, достигнутого в предыдущем периоде), и «новые», т. е. вводимые в течение прогнозного периода, которые обеспечивают прирост продукции. Уровень функционирования «старых мощностей» электростанций в расчетах фиксировался и, следовательно, не играл активной роли в оптимизационном процессе. Таким образом, основными факторами, формирующими конкурентную среду для технологий на ВИЭ, выступают, с одной стороны, отсутствие потребления органического топлива как основного элемента материальных затрат (или потребление его в незначительных количествах в сравнении с традиционной энергетикой), отсутствие сопряженных затрат на разведку, добычу, переработку и доставку топлива в регион, и, с другой стороны, прогноз-

---

<sup>7</sup> Расчеты проводились на модели первого прогнозного периода с прогнозным горизонтом 2008–2020 гг.

ные оценки стоимости новых объектов традиционной энергетики (АЭС, ГЭС, КЭС, ТЭЦ), заложенные в расчетах, с которыми параметрически сопоставляется меняющаяся стоимость объектов ВИЭ.

Покажем, как понятие стоимости новых технологий вводится в ОМММ-ТЭК. Для этого воспроизведем из описания канонической ОМММ (но с учетом разбиения совокупного производства на «старые» и «новые» мощности) формальную запись региональных балансов инвестиций в основной капитал в  $r$ -м регионе на производство продукции и услуг, включая транспорт [1. С. 22–28]:

$$\sum_j h_{ij}^0 x_j + \sum_j h_{ij}^r \bar{x}_j - \sum_{t=1}^T u_i^{tr} \leq 0, \quad (1)$$

$$i = 1, \dots, n; \quad r = 1, \dots, m,$$

где

$x_j^{0r}$  – объем производства продукции  $j$ -й отрасли в  $r$ -м регионе, получаемый в последнем году прогнозного периода с производственных мощностей, действовавших на начало прогнозного периода;

$\bar{x}_j^r$  – прирост производства продукции  $j$ -й отрасли (по отношению к уровню производства на старых мощностях) в  $r$ -м регионе в прогножном периоде за счет инвестиций на расширение и ввод новых мощностей;

$h_{ij}^0$  – затраты инвестиций вида  $i$  в течение прогнозного периода на стоимостную единицу продукции  $j$ -й отрасли в  $r$ -м регионе, получаемой на старых мощностях в последнем году прогнозного периода;

$h_{ij}^r$  – затраты инвестиций вида  $i$  в течение прогнозного периода на стоимостную единицу продукции  $j$ -й отрасли в  $r$ -м регионе, получаемой на новых мощностях в последнем году прогнозного периода.

Если какой-либо прогнозный период многопериодной модели (как в случае ОМММ-ТЭК) включает  $T$  лет, то  $\sum_{t=1}^T u_i^{tr}$  – объем инвестиций  $i$ -го вида за весь прогнозный период, величина, оптимизируемая в региональных балансах инвестиций (1), где  $u_i^{tr}$  – расход инвестиций в году  $t$  в  $r$ -м регионе.

В ОМММ-ТЭК принят степенной закон роста инвестиций, т. е. приближенно считается, что они возрастают от базового года до последнего с неизменным темпом, который является эндогенной переменной модели и параметром для расчета объемных показателей инвестиций. Из (1) следует, что расход инвестиций данного вида за период балансируется с их потребностями исходя из заданных экзогенных параметров отраслевой капиталоемкости продукции и услуг, дифференцированных по регионам.

Чтобы наглядно показать специфику ОММ-ТЭК (по отношению к канонической модели), представим баланс инвестиций (1) в ней в матричной форме [9. С. 37–38, 40–45]. С учетом последующего развития модели его можно записать следующим образом:

$$K_1 X_1 + K_2(X_2, N) + K_3 X_3 + K_\tau X_2^\tau + K^R R \leq H(\lambda) \quad (2)$$

В (2) отражена особенная «блоковая» структура модели – разделение на блок не топливно-энергетических отраслей (индекс 1), блок топливных (индекс 2) и энергетических (индекс 3) продуктов. Блоковая структура позволяет сосредоточиться далее на энергетическом блоке, не затрагивая другие структурные элементы модели. Вектор капиталоемкости  $K$  приобретает при таком делении специфические особенности для каждого блока. Здесь  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  – объемы производства всех отраслей и продуктов в последнем году прогнозного периода по стоимости.  $X_2^\tau$  – объемы межрайонных перевозок топливных продуктов специализированным (трубопроводным) транспортом, соответственно параметр  $K_\tau$  относит инвестиции на межрайонные перевозки нефти и газа. Функция  $K_2$  учитывает удорожание добычи, вводы мощностей  $N$  по добыче топливно-энергетических продуктов в течение периода и взаимосвязь между вводом мощностей и объемами добычи в последнем году периода ( $X_2$ ). Переменная *запасов*  $R$  и капиталоемкость  $K^R$  моделируют инвестиции в подготовку запасов топливных ресурсов.  $H(\lambda)$  – векторы функции объемов инвестиций от среднегодовых темпов их прироста по выделяемым видам инвестиций.

*Моделирование электрической мощности и ее стоимости.* Поскольку производство энергии технологическими способами доведено в ОМММ-ТЭК до уровня обобщенных технологий, т. е. типовых энергетических объектов традиционной энергетики, то такая степень детализации позволяет с определенной долей условности ввести понятие суммарной электрической мощности энергетических объектов данного типа в регионе.

Вычленим из баланса инвестиций (1) и (2) подблок инвестиций в энергетику  $K_3 X_3$  (на производство, передачу и распределение тепловой и электрической энергии) и представим его формальную запись по технологическим способам. Пусть  $A$  – множество типов энергетических объектов, тогда

$$K_3 X_3 = \sum_{i=1}^n \sum_{k \in A} h_{iek}^{0r} x_{ek}^{0r} + \sum_{i=1}^n \sum_{k \in A} h_{iek}^r x_{ek}^{-r} = \sum_{k \in A} H_{ek}^r + \sum_{k \in A} H_{ek}^{0r}, \quad (3)$$

$$i = 1, \dots, n; \quad r = 1, \dots, m,$$

где

$h_{iek}^{0r}$  – затраты инвестиций вида  $i$  за весь период на стоимостную единицу производства энергии  $e$  в последнем году прогнозного периода на старых мощностях  $k$ -го типа энергетических объектов, введенных до начала прогнозного периода и продолжающих действовать в  $r$ -м регионе;

$h_{iek}^r$  – затраты инвестиций вида  $i$  на стоимостную единицу производства энергии  $e$  в последнем году прогнозного периода на новых мощностях  $k$ -го типа, введенных в  $r$ -м регионе в течение прогнозного периода;

$x_{ek}^{0r}$  – интенсивность выработки энергии  $e$  (электроэнергии и тепла, взятых по стоимости)  $k$ -м типом энергетических объектов в регионе  $r$  в последнем году прогнозного периода на мощностях, введенных до его начала;

$\bar{x}_{ek}^r$  – интенсивность выработки энергии  $e$  (электроэнергии и тепла, взятых по стоимости)  $k$ -м типом энергетических объектов в регионе  $r$  в последнем году прогнозного периода на мощностях, введенных в течение прогнозного периода;

$H_{ek}^0$  – расчетная величина инвестиций за период, затраченных на функционирование  $k$ -го типа энергетических объектов, введенных до начала прогнозного периода;

$H_{ek}^r$  – расчетная величина инвестиций на строительство, ввод и функционирование новых энергетических объектов  $k$ -го типа в прогнозируемом периоде.

Именно величина  $H_{ek}^r$ , которая включает затраты всех видов инвестиций и рассчитывается на очередном шаге параметрического анализа, отражает результат конкурентного выбора среди новых (т. е. вводимых в течение прогнозного периода) традиционных и «нетиповых» технологий. Логично использовать эту величину для моделирования стоимости натуральной единицы установленной мощности энергетических объектов  $k$ -го типа.

Будем рассматривать интенсивность  $\bar{x}_{ek}^r$  (т. е. эндогенный региональный показатель текущего решения, выраженный в неизменных ценах базового года) как объем работы по выработке энергии на ряде новых объектов  $k$ -го типа в течение календарного года. Выбравшаяся в текущем оптимальном решении интенсивность  $k$ -й технологии отражает как величину потребности в энергии, сложившуюся на данный момент со стороны экономики и домашних хозяйств региона (спрос), так и общую степень ее дефицитности в регионе (предложение). С другой стороны, величина интенсивности является результатом конкурентного выбора среди технологий, имеющих разную удельную стоимость установленной мощности и производительность. С учетом того, что для некоторых типов традиционных энергетических объектов, представленных в модели, таких как КЭС и ТЭЦ, интенсивность производственного способа включает производство двух продуктов (электроэнергии и тепла), при расчете мощности используются параметры, которые разделяют оптимизируемую интенсивность на два продукта, чтобы затем представить их в натуральном выражении. При вводе в модель обобщенной технологии на ВИЭ принято, что на них вырабатывается только электроэнергия, т. е. эти технологии моделируются как однопродуктовые способы.

Представим работу энергетических объектов  $k$ -го типа как производство установленной мощности на ее среднее число часов работы. Привлекая данные Росстата и отраслевой статистики о среднем числе часов использования установленной мощности электростанций разных типов, введем в модель показатель новой установленной мощности. Для этого сначала выразим через интенсивность и параметры модели объем выработки электроэнергии в регионе на энергетических объектах  $k$ -го типа в календарном году:

$$El_k^r = \bar{x}_{ek}^r d_{elk}^r / p_{el}, \quad k \in A, \quad (4)$$

где

$El_k^r$  – объем выработки электроэнергии в регионе в натуральном выражении на новых энергетических объектах  $k$ -го типа в последнем году прогнозного периода;

$d_{elk}^r$  – доля электроэнергии  $el$  в общей выработке энергии  $e$  (по стоимости) на энергетических объектах  $k$ -го типа в регионе  $r$  в последнем году прогнозного периода, экзогенный параметр модели;

$p_{el}$  – среднотраслевая цена электроэнергии в базовом году, руб. / 1000 кВтч.

Суммарная электрическая мощность новых энергетических объектов  $k$ -го типа определяется из (4) с привлечением экзогенного параметра  $\bar{T}_{elk}$ :

$$N_{elk}^r = \frac{El_k^r}{\bar{T}_{elk}}, \quad (5)$$

$$k \in A,$$

Здесь

$N_{elk}^r$  – суммарная электрическая мощность энергетических объектов  $k$ -го типа, введенных в прогнозируемый период, рассчитывается по результатам решения;

$\bar{T}_{elk}$  – среднее число часов работы единичной установленной электрической мощности  $k$ -го типа в календарном году. Данный экзогенный показатель используется как для расчета суммарной электрической мощности в (5), так и для получения моделируемой характеристики конкурирующих новых технологий – КИУМ.

Выразим стоимость новой технологии через удельную стоимость киловатта мощности. Поскольку в ОМММ-ТЭК, имеющей высокую степень регионального и отраслевого агрегирования, интенсивность способа, производящего энергию в регионе, как правило, означает функционирование нескольких или многих объектов, необходимо капиталоемкости новых производственных способов (совокупности энергетических объектов  $k$ -го типа) привести во взаимно однозначное соответствие с удельной стоимостью киловатта мощности энергетического объекта  $k$ -го типа.

Для этого величину инвестиций на строительство и ввод новых энергетических объектов  $k$ -го типа в прогнозируемый период  $H_{ek}^r$ , рассчитанную по результатам решения из (3), используя выражение (4) и определение суммарной электрической мощности объектов  $k$ -го типа (5), представим следующим образом:

$$H_{ek}^r d_{elk}^r = \sum_{i=1}^n h_{iek}^r x_{ek}^r d_{elk}^r = \frac{d_{elk} \sum_{i=1}^n h_{iek}^r El_k^r \bar{T}_{elk} p_{el}}{\bar{T}_{elk}} = d_{elk} \sum_{i=1}^n h_{iek}^r N_{elk}^r \bar{T}_{elk} p_{el}, \quad (6)$$

$$k \in A,$$

Умножение в третьем члене последовательности равенств числителя и знаменателя на одну и ту же величину  $\bar{T}_{elk}$  позволяет перейти к показателю суммарной мощности  $N_{elk}^r$ . Таким образом, оптимизируемые затраты инвестиций на строи-

тельство и функционирование конкурирующей технологии зависят от суммарной электрической мощности энергетических объектов  $k$ -го типа, выбранной в решении модели на очередном шаге итеративных расчетов, и от среднего числа часов работы единичной установленной мощности (экзогенного параметра), который характеризуется данный тип технологии.

Для того чтобы проводить итеративные расчеты, сравнивая традиционные и нетиповые технологии, различающиеся по стоимости и КИУМ, следует перейти к сопоставимым оценкам стоимости единичной мощности, приводимым в литературе, т. е. перейти к оценке стоимости удельной мощности технологии  $k$ -го типа, выраженной в долларах. Для этого поделим последний член последовательности равенств (6) на величину суммарной электрической мощности энергетических объектов  $k$ -го типа  $N_{elk}^r$  и курс доллара за базовый год и получим следующее выражение:

$$c_{elk} = \frac{d_{elk} \sum_{i=1}^n h_{iek}^r \bar{T}_{elk} p_{el}}{P_{\$}}, \quad k \in A, \quad (7)$$

где

$c_{elk}$  – стоимость удельной электрической мощности технологии  $k$ -го типа, долл./кВт;

$P_{\$}$  – средний курс доллара по отношению к рублю, руб./долл.

Выражение (7) показывает один из ключевых элементов алгоритма проведения итеративных расчетов. При построении Центрального варианта решения модели, т. е. до ввода новых технологий на ВИЭ для объектов традиционной энергетики (АЭС, ГЭС, КЭС, ТЭЦ) по формуле (7) рассчитываются такие  $h_{iek}^r$  которые позволяют выйти на  $c_{elk}$ , полученные с привлечением экспертных оценок. Диапазон задаваемых значений  $c_{elk}$  в значительной степени и формирует конкурентную среду.

Для включения в условия оптимизационной задачи самих технологий на ВИЭ был использован другой прием формирования  $h_{iek}^r$ , который условно можно назвать «изменение стоимости единицы мощности по отношению к заданному эталону». Из-за большого разнообразия и недостаточной надежности данных о реальной стоимости реализованных (или которые будут реализованы до 2020 г.) проектов электростанций на ВИЭ индивидуальные стоимости удельной электрической мощности конкретных энергетических объектов непосредственно в расчетах не использовались. Ставилась более общая задача – применяя параметрический анализ, получить некоторые ее пороговые значения, после прохождения которых технологии на ВИЭ перестают использоваться в массовом масштабе (перестают быть эффективными) или наоборот, начинают использоваться. За эталон была принята усредненная по регионам стоимость удельной мощности угольных КЭС, взятая из Центрального варианте решения модели.

### Примеры применения методики параметрического анализа

Использование параметрического анализа предполагает проведение серийных расчетов. Охарактеризуем некоторые из них.

*Сценарий региональных предпочтений.* Применяемый в данном ситуационном сценарии подход заключается в том, что процесс варьирования стоимости обобщенной технологии на ВИЭ организуется последовательно в каждом регионе (т. е. в остальных регионах при этом она не распространяется). Таким образом, для реализации сценария осуществляется шесть серий последовательных расчетов (по числу регионов в ОМММ-ТЭК). Одинаковый начальный импульс» и одинаковый пошаговый процесс изменения стоимости предполагает одинаковую «производительность» обобщенной технологии, т. е. использование для нее в каждом из шести регионов (серий расчетов) одну и ту же величину КИУМ.

Ввод новой технологии в отдельно взятом регионе и пошаговое увеличение ее стоимости вызывает через механизмы межотраслевых и межрегиональных материально-вещественных связей изменения отраслевых и макроэкономических показателей в остальных регионах страны, но в разной степени. Поэтому отслеживаемые интегральные эффекты (аккумулирующие на национальном уровне мультипликативные эффекты более низких уровней) могут существенно различаться при одинаковом начальном импульсе. Полученные пошаговые траектории интегральных эффектов можно ранжировать в зависимости от их количественных значений по регионам, получая тем самым систему региональных предпочтений для проведения избирательной инвестиционной политики со стороны государства. Она должна быть направлена на поддержку развития энергетики на ВИЭ прежде всего в тех регионах, начальный импульс в которых вызвал максимальный интегральный эффект. В качестве интегральных показателей народнохозяйственной эффективности нами использовались ВВП (сумма ВРП), фактическое конечное потребление домашних хозяйств (критерий оптимизации модели) и показатель экономии первичных энергетических ресурсов.

*Сценарии «все регионы».* В этом ситуационном сценарии потенциальная возможность распространения обобщенной технологии на ВИЭ существует для всех регионов одновременно, но в отличие от предыдущего сценария она (технология) характеризуется собственным значением КИУМ в каждом регионе.

Приведем результаты расчетов по этому сценарию в качестве методического примера. Региональный КИУМ в них рассматривается как обобщенная характеристика «производительности» всего класса технологий на ВИЭ. На настоящей степени технического прогресса он значительно уступает усредненным показателям электростанций традиционной энергетики (см. табл. 4). С другой стороны, при представлении новых технологий одним производственным способом в регионе участвующий в формировании капиталоемкости этого способа КИУМ (см. выражение (7)), «индивидуализируется». Он рассчитывается как средневзвешенная (по суммарной установленной мощности) величина комбинаций различных типов электростанций на ВИЭ (ВЭС, СЭС, МГЭС, ГеоЭС и т. д.), вводы которых были осуществлены в данном регионе или запроектированы на ввод в течение прогнозного периода (2008–2020 гг.).

Источниками информации о проектах послужили данные из специализированных изданий электронных СМИ<sup>8</sup> (перечень введенных и строящихся объектов ВИЭ). Конечно, эмпирическая средневзвешенная оценка КИУМ несет существенный груз погрешности, поскольку часть проектов не была реализована вообще, или была отложена на более поздний период. Следует также иметь в виду, что КИУМ, предусмотренный в проектах создания станций, часто на практике не достигается и оказывается значительно ниже. Так, фактический КИУМ ВЭС в РФ в 2016 г. был ниже 0,135 (50 % от эталонного значения), фактический КИУМ СЭС в 2016 г. был выше 0,105 (75 % эталонного значения)<sup>9</sup>. Тем не менее, эти оценки отражают существующие и складывающиеся тенденции «производительности» региональной обобщенной технологии на момент проведения расчетов.

В табл. 5 и на рисунке приведены результаты параметрического анализа со значениями региональных КИУМ, рассчитанными указанным выше образом (см. строку 1 табл. 5). На горизонтальной оси на рисунке отложены шаги изменения стоимости электростанций на ВИЭ, выраженные в относительных единицах усредненной стоимости единичной мощности угольных КЭС, принятой за эталон. Как видно, производство электроэнергии на новых технологиях при изменении относительной стоимости с шагом 0,05 варьируется в масштабе страны от 7,3 млрд до 0,8 млрд кВтч. Для экономии места в табл. 5 из 14-и итераций показаны три первых шага, в которых удельная стоимость энергетических объектов на ВИЭ равна или ниже эталонной, 10-й шаг (с увеличением стоимости по отношению к эталону в 1,35 раза), после которого начинается заметное снижение интенсивности функционирования новых энергетических объектов. На рисунке перпендикулярами к горизонтальной оси выделена «зона стабильности» (с 3-го по 10-й шаг), в которой рост стоимости новых технологий не снижает интенсивности их функционирования. На двух последних шагах при росте стоимости в 1,5 и 1,55 раза технологии на ВИЭ попадают в оптимальный план при резком снижении интенсивности. При росте в 1,6 раза они выходят из него, и происходит возвращение к Центральному варианту решения модели.

Из анализа табл. 5 следует вывод об исключительной предпочтительности распространения электростанций на ВИЭ в Дальневосточном регионе почти во всей области изменения стоимости. Расчеты показывают устойчивость оптимизируемой величины производства электроэнергии в этом регионе на уровне 4,9–5,0 млрд кВтч в диапазоне роста относительной стоимости от 0,9 до 1,35 раза. Ввод новых объектов на ВИЭ в Европейской России происходит только тогда, когда их стоимость ниже эталонной. Все другие макрорегионы конкуренции традиционной энергетики не выдерживают.

---

<sup>8</sup> Возобновляемые источники энергии в России. Аналитический доклад. Итоги 2014 года. Некоммерческое партнерство «Совет участников рынка ВИЭ». 2015. URL: <http://www.reenfor.org/upload/files/ДокладВИЭ2014.pdf> (дата обращения 19.02.2020).

<sup>9</sup> Белобородов С. С. Снижение эмиссии CO<sub>2</sub>, развитие когенерации или строительство ВИЭ? // Энергосовет. 2018. № 1 (51). URL: [http://www.energosoвет.ru/bul\\_stat.php?idd=687](http://www.energosoвет.ru/bul_stat.php?idd=687) (дата обращения 3.05.2020).

Таблица 5

Производство электроэнергии, вырабатываемой на новых технологиях (на ВИЭ) в РФ  
с учетом КИУМ, дифференцированным по регионам, млрд кВтч

Table 5

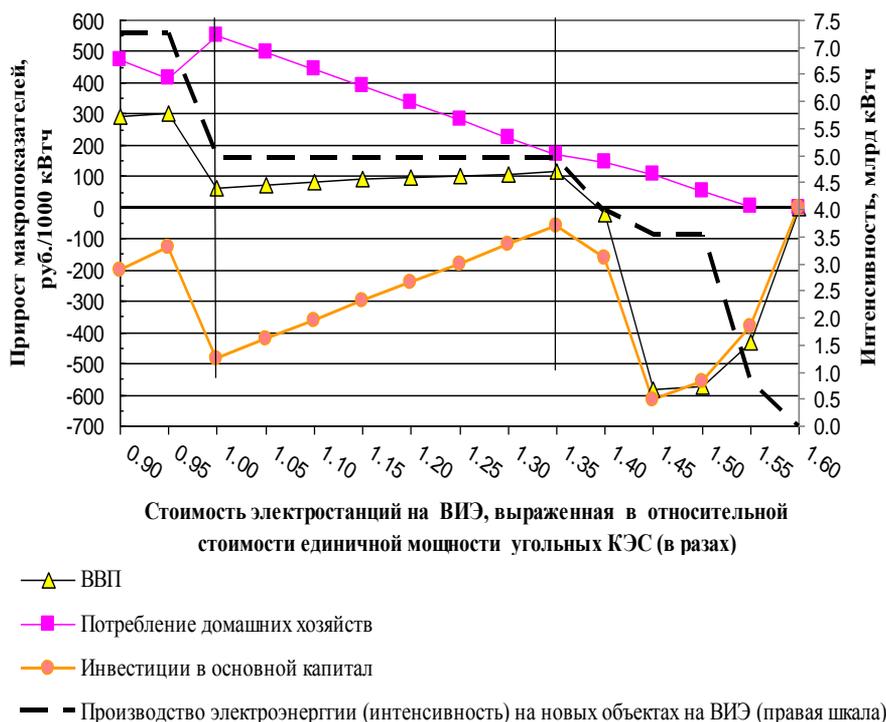
Generation of electricity generated by new technologies (renewable energy) in the Russian Federation,  
taking into account KUF, differentiated by regions, billion kWh

Показатель		Европейская Россия	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток	Тюменская обл.	Урал
Региональный коэффициент использования установленной мощности (КИУМ)		0,258	0,145	0,140	0,351	0,259	0,148
Номер шага	Рост относительной стоимости единичной мощности (в размах)*						
1	0,90	2,3	–	–	5,0	–	–
2	0,95	2,3	–	–	5,0	–	–
3	<b>1,0</b>	–	–	–	4,9	–	–
10	1,35	–	–	–	4,9	–	–
13	1,50	–	–	–	3,5	–	–
14	1,55	–	–	–	0,8	–	–

Источник: решения ОМММ-ТЭК.

\* Средняя по стране стоимость единичной мощности новых (т. е. вводимых в прогнозном периоде) угольных КЭС, принятая за единицу относительной стоимости объектов на ВИЭ, составляет 1034 доллара за кВт мощности.

« – » – Новые энергетические объекты на ВИЭ при данных условиях не вошли в оптимальный план.



Приросты интегральных макропоказателей на единицу электроэнергии, вырабатываемой на новых технологиях (на ВИЭ), в зависимости от изменения стоимости на их создание и ввод, выраженной в относительных единицах стоимости угольных КЭС, руб./1000 кВтч

Increments of integral macro indicators per unit of electricity generated on new technologies (RES), depending on the change in cost for their creation and input, expressed in relative units of cost of coal CPP, RUB/1000 kWh

*Замечания о показателях эффективности.* В табл. 6, по данным которой построен рисунок, в столбцах 1–5 приведены интегральные показатели народнохозяйственной эффективности, полученные в ситуационном сценарии «все регионы». Они рассчитаны как приростные величины ряда макроэкономических показателей по отношению к Центральному варианту, т. е. к решению модели до параметрического ввода новых технологий. Эти приросты соотнесены с интенсивностью распространения технологий на ВИЭ в регионах (см. рисунок).

На рисунке можно видеть, что параметрические траектории интегральных показателей не являются монотонными во всем диапазоне изменения стоимости, а разделены на отдельные участки, прерывающие монотонность. Она прерывается в граничных точках, после прохождения которых наблюдается резкое изменение

Таблица 6

Приросты интегральных показателей на единицу электроэнергии, вырабатываемой на новых технологиях (на ВИЭ), в зависимости от изменения стоимости на их создание и ввод, выраженной в относительных единицах стоимости угольных КЭС, руб./1000 кВтч (в ценах 2007 г.)

Table 6

Increments of integral indicators per unit of electricity generated from new technologies (RES), depending on the change in the cost of their creation and input, expressed in relative units of the cost of coal CPP, RUB/1000 kWh (in 2007 prices)

Номер шага	Рост относительной стоимости технологий на ВИЭ	ВВП	Фактическое конечное потребление домашних хозяйств	Инвестиции в основной капитал	Экономия первичных ТЭР, тут/1000 кВтч
	1	2	3	4	5
1	0,90	292	474,	-200	0,396
2	0,95	302	413	-129	0,397
3	<b>1,0</b>	63	550	-484	0,391
4	1,05	72	497	-422	0,391
5	1,10	81	443,	-361	0,391
6	1,15	90	390	-300	0,392
7	1,20	96	335,	-240	0,392
8	1,25	102	280	-180	0,393
9	1,30	108	225,	-120	0,393
10	1,35	114	170	-60	0,393
11	1,40	-22	145,	-161	0,380
12	1,45	-584	105	-618	0,398
13	1,50	-574	51	-557	0,399
14	1,55	-430	1,4	-380	0,406

Источник: решения ОМММ-ТЭК.

интенсивности функционирования новых энергетических объектов. Так, в частности, граничной точкой является «шаг 2», после которого, технологии на ВИЭ в европейском макрорегионе выбывают из оптимального плана, и «шаг 10», после которого положительные приросты ВВП становятся отрицательными (см. табл. 6 и рисунок).

Объяснение смены знаков состоит в том, что ВВП является «синтетическим» показателем. В ОМММ-ТЭК он рассчитывается производственным методом (выпуск минус материальные затраты) и по элементам конечного использования (как сумма фактического конечного потребления домашних хозяйств, инвестиций в основной капитал экономики, чистого экспорта, капитального ремонта, накопления оборотных фондов и государственных расходов на коллективные нужды). Первые два элемента (входящие в состав интегральных показателей эффективности) значительно преобладают, составляя более 60 % от ВВП. Показатель потребления домашних хозяйств, являясь критерием оптимальности задачи линейного программирования, целиком находится в области положительных значений: при росте стоимости технологий на ВИЭ в результате исчерпания резерва эффективности приростной показатель критерия монотонно снижается и, в конечном счете, становится равным нулю, т. е. происходит возвращение к Центральному варианту (столбец 3 табл. 6). Иначе говоря, пока новые технологии при различных вариантах своей стоимости и интенсивности попадают в оптимальный план, они являются эффективными, а значения критерия положительными. Поэтому отрицательные значения ВВП возникают за счет изменения соотношения положительных значений критерия и отрицательных значений инвестиций (столбцы 3 и 4 табл. 6). Отрицательные приросты инвестиций трактуются (в зоне устойчивой эффективности) как их экономия в масштабе всей экономики, которая возникает вследствие экономии затрат на ввод новых объектов традиционной энергетики, а также на формирование запасов, добычу, транспорт и хранение природного топлива, поскольку потребность в нем сокращается.

### Заключение

Формирование описанной выше методики параметрического анализа не является конечным этапом исследований. Так, в последних расчетах на ОМММ-ТЭК (2019)<sup>10</sup>, был сделан шаг от обобщенной технологии на ВИЭ к моделированию трех типов технологий (СЭС, ВЭС и МГЭС). В дальнейшем, опираясь на многопериодный характер ОМММ-ТЭК, предполагается использовать параметрический анализ на долгосрочную перспективу до 2030 г., варьируя не только зону неопределенности стоимости новых технологий, но и самую конкурентную среду, в которую они помещаются, меняя для этого прогнозные оценки стоимости традиционных энергетических объектов (типов станций) в регионах.

---

<sup>10</sup> Авторы выражают благодарность А. И. Кашеваровой за помощь в работе над данной статьей. Под руководством Н. И. Сулова А. И. Кашеваровой была защищена выпускная квалификационная работа «Оценка эффективности распространения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в стране и регионах РФ с использованием инструментария ОМММ-ТЭК», НГУ, 2019. 63 с.

Сам же предложенный подход, который состоит в определении потенциальных зон эффективности распространения новых технологий в условиях неопределенности их стоимости (на начальном этапе до вхождения нетрадиционной энергетики в фазу «традиционности»), является, на наш взгляд, продуктивным. В ИПМК ОМММ-ТЭК этот подход обеспечивается приведением во взаимно однозначное соответствие работы по выработке энергии (интенсивности), выполняемой технологией данного типа (эндогенный параметр решения модели), ее (технологии) суммарной электрической мощности в регионе (рассчитываемой с использованием КИУМ) и стоимости единичной мощности, определяемой с использованием показателя капиталоемкости новой технологии.

### Список литературы

1. Гранберг А. Г., Сулов В. И., Суспицын С. А. Многорегиональные системы: экономико-математическое исследование. Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2007. 371 с.
2. Сулов Н. И., Бузулуцков В. Ф. Инструментарий оценки экономической эффективности новых энерготехнологий и последствий возможных внешних шоков для экономики России // Междунар. энергетическая конф. всерос. открытого постоянно действующего науч. семинара «Экономические проблемы энергетического комплекса (семинар А. С. Некрасова) – 2017»: Материалы конф. / Под ред. В. В. Семикашева и др.; Ин-т народнохоз. прогнозирования РАН. М.: Анкил, 2017. С. 358–376.
3. Бузулуцков В. Ф., Сулов Н. И. СОНАР-ТЭК: моделирование и анализ проблем энергетического комплекса в системе национальной экономики // Системное моделирование и анализ мезо- и микроэкономических объектов / Отв. ред. В. В. Кулешов, Н. И. Сулов. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2014. С. 52–78.
4. Сулов Н. И. Возобновляемые источники энергии в стране, где много традиционных энергоресурсов: ещё о России // ЭКО. 2014. № 3. С. 69–88.
5. Любимова Е. В. Возобновляемые энергоисточники Сибири: достигнутое и перспективы // Регион: экономика и социология. 2018. № 1. С. 250–270.
6. Чурашев В. Н., Маркова В. М. Анализ технологического уровня развития генерации энергии: современное состояние и прогнозы для России и Сибири // Экономика Сибири в условиях глобальных вызовов XXI века: Сб. ст.: В 6 т. / Под ред. Н. И. Сулова, М. А. Ягольницера, Е. Н. Мельтенисовой; ИЭОПП СО РАН. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2018. Т. 3: Проблемы индустриального и инфраструктурного развития регионов Сибири в условиях современных вызовов. С. 160–173.
7. Любимова Е. В. Электроэнергетика: экономические оттенки российских трендов // ЭКО. 2019. № 9. С. 8–22.
8. Чурашев В. Н., Маркова В. М. Остаться нельзя уйти: к вопросу о развитии угольной генерации в России // ЭКО. 2019. № 11. С. 63–93.
9. Сулов Н. И., Чернышов А. А. Территориальные народнохозяйственные модели взаимосвязей многоотраслевых комплексов // Моделирование взаи-

МОДЕЙСТВИЯ МНОГООТРАСЛЕВЫХ КОМПЛЕКСОВ В СИСТЕМЕ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА /  
Отв. ред. Б. Б. Розин. Новосибирск: Наука, 1992. С. 33–52.

### References

1. **Granberg A. G., Suslov V. I., Suspitsyn S. A.** Multiregional Systems: Economic and Mathematical Research. Novosibirsk, Siberian Scientific Publishing, 2007, 371 p. (in Russ.)
2. **Suslov N. I., Buzulutskov V. F.** Tools for evaluating the economic efficiency of new energy technologies and the consequences of possible external shocks for the Russian economy. In: International Energy Conference of the All-Russian Open Permanent Scientific Seminar “Economic Problems of the Energy Complex (A. Nekrasov Seminar) – 2017”: conference proceedings. Moscow, Ankil Publ., 2017, p. 358–376. (in Russ.)
3. **Buzulutskov V. F., Suslov N. I.** SONAR-TEK: Modeling and Analysis of the Problems of the Energy Complex in the System of National Economy. In: System Modeling and analysis of meso- and micro-economic objects. Novosibirsk, IEIE SB RAS Publ., 2014, p. 40–111. (in Russ.)
4. **Suslov N. I.** Renewable energy in a country where there are many traditional energy resources: more about Russia. *EKO*, 2014, no. 3, p. 69–88. (in Russ.)
5. **Lyubimova E. V.** Siberia’s renewable energy sources: achievements and prospects. *Region: economics and sociology*, 2018, no. 1, p. 250–270. (in Russ.)
6. **Churashev V. N., Markova V. M.** Analysis of the technological level of energy generation development: current state and forecasts for Russia and Siberia. In: Economics of Siberia in the context of global challenges of the 21<sup>st</sup> century. Collection of articles. In 6 vols. Novosibirsk, IEIE SB RAS Publ., 2018, vol. 3, p. 160–173. (in Russ.)
7. **Lyubimova E. V.** Electric Power Industry: economic shades of Russian trends. *EKO*, 2019, no. 9, p. 8–22. (in Russ.)
8. **Churashev V. N., Markova V. M.** Remain cannot leave: to the issue of development of coal generation in Russia. *EKO*, 2019, no. 11, p. 63–93. (in Russ.)
9. **Suslov N. I., Chernyshov A. A.** Interregional models of national economy with relationships of multi-industry complexes In: Simulation of interaction of multi-industry complexes in the system of national economy. Novosibirsk, Nauka Publ., 1992, p. 33–52. (in Russ.)

Материал поступил в редколлегию 03.02.2020

Принят к печати 03.03.2020

### Сведения об авторах

**Суслов Никита Иванович**, доктор экономических наук, профессор, заведующий отделом, заместитель директора, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (Новосибирск, Россия); профессор, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (Новосибирск, Россия)

nsus@academ.org

SPIN РИНЦ 5799-8945

ORCID 0000-0001-8899-7906

Scopus Author ID 56850149500

**Бузулуцков Владимир Федорович**, старший научный сотрудник, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (Новосибирск, Россия)

buzulu@ieie.nsc.ru

ORCID 0000-0001-5538-1902

### Information about the Authors

**Nikita I. Suslov**, Doctor of Science (Economics), Deputy Director for Science, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation); Professor, Novosibirsk State University (Novosibirsk, Russian Federation)

nsus@academ.org

SPIN РИНЦ 5799-8945

ORCID 0000-0001-8899-7906

Scopus Author ID 56850149500

**Vladimir F. Buzulutskov**, Senior Researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)

buzulu@ieie.nsc.ru

ORCID 0000-0001-5538-1902