

УДК 338.5:621.31
DOI 10.34822/2312-3419-2021-1-12-25

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ, ПОДКЛЮЧЕННЫХ К СЕТЯМ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

А. П. Дзюба
Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, Россия
E-mail: dzyuba-a@yandex.ru

Статья посвящена исследованию условий ценообразования на оплату компонента услуг по передаче электроэнергии для промышленных предприятий, подключенных к электрическим сетям производителей электроэнергии, а также разработке решений, направленных на оптимизацию затрат на закуп электроэнергии по компоненту услуг по передаче электроэнергии. На основе трех типовых конфигураций почасового суточного графика электропотребления промышленных предприятий проводится расчет средневзвешенных тарифов на оказание услуг по передаче электроэнергии для регионов, входящих в Уральский и Сибирский федеральные округа. По результатам расчета выявлено увеличение средневзвешенной стоимости тарифов для графиков электропотребления, характеризующихся высокими показателями коэффициента заполнения суточного графика нагрузки, что подчеркивает вероятность увеличения стоимости электроэнергии для некоторых промышленных предприятий по сравнению со стоимостью электроэнергии, приобретаемой предприятиями, не имеющими прямого технологического присоединения к сетям электростанций. С учетом выявленных особенностей разработана модель управления спросом на электроэнергию промышленных предприятий, подключенных к сетям производителей электроэнергии, основанная на прогнозировании и последующей оценке стоимостных параметров оплаты услуг по передаче электроэнергии до и после корректировок почасовых суточных графиков электропотребления, а также корректировке графиков почасового электропотребления промышленных предприятий, критериев экономической эффективности, технологической возможности, системной устойчивости. Разработанные решения позволяют промышленным предприятиям, подключенным к электрическим сетям производителей электроэнергии, снижать затраты на закуп электроэнергии, что способствует повышению экономической эффективности и финансовой устойчивости их деятельности.

Ключевые слова: передача электроэнергии, генераторное напряжение, ценообразование, рынок электроэнергии, энергоэффективность, услуги по передаче электроэнергии, энерготарифы.

Для цитирования: Дзюба А. П. Модель управления спросом на электроэнергию промышленных предприятий, подключенных к сетям производителей электроэнергии // Вестник Сургутского государственного университета. 2021. № 1. С. 12–25. DOI 10.34822/2312-3419-2021-1-12-25.

MODEL OF ELECTRICITY DEMAND MANAGEMENT OF INDUSTRIAL ENTERPRISES CONNECTED TO THE GRID OF ENERGY PRODUCERS

A. P. Dzyuba
South Ural State University (NRU), Chelyabinsk, Russia
E-mail: dzyuba-a@yandex.ru

The article is devoted to the study of the pricing conditions for the payment for the component of electricity transmission services for industrial enterprises connected to the electric networks of energy producers, and the development of solutions aimed at optimizing the cost of purchasing electricity for the component of transmission services. Based on three typical configurations of the hourly daily power consumption schedule of industrial enterprises, the weighted average tariffs for the provision of electricity transmission services for the regions included in the Ural and Siberian Federal Districts are calculated. According to the results of the calculation, an increase in the weighted average cost of tariffs for power consumption

schedules characterized by high rates of filling the daily load schedule was revealed. This emphasizes the likelihood of an increase in the cost of electricity for some industrial enterprises in comparison with the cost of electricity purchased by enterprises that do not have a direct technological connection to power plant networks. Taking into account the identified features, a model has been developed for managing the demand for electricity of industrial enterprises connected to the grids of energy producers, based on forecasting and subsequent assessment of the cost parameters of payment for electricity transmission services before and after adjusting the hourly daily power consumption schedules of industrial enterprises, as well as adjusting the hourly power consumption schedules, criteria of economic efficiency, technological capability, systemic stability. The developed solutions allow industrial enterprises connected to the electric grids of energy producers to reduce the cost of electricity, which contributes to increasing the economic efficiency and financial sustainability of their activities.

Keywords: electricity transmission, generator voltage, pricing, electricity market, energy efficiency, transmission services, energy tariffs.

For citation: Dzyuba A. P. Model of Electricity Demand Management of Industrial Enterprises Connected to the Grid of Energy Producers // Surgut State University Journal. 2021. No. 1. P. 12–25. DOI 10.34822/2312-3419-2021-1-12-25.

ВВЕДЕНИЕ

В течение последнего десятилетия развитие технологий цифровизации и автоматизации позволило существенно усовершенствовать основную и вспомогательную деятельность промышленных предприятий. Прежде всего, процессы цифровизации были внедрены в сферу энергоснабжения промышленных предприятий, а именно процессов, обеспечивающих учет, контроль и управление потреблением топливно-энергетических ресурсов. В промышленности любой страны мира одним из основных потребляемых энергоресурсов является электрическая энергия, которая участвует во всех процессах деятельности предприятий: от обеспечения работы тяжелых печей и станов в горячих цехах металлургических предприятий, до обеспечения работы персональных компьютеров и мобильных телефонов в офисных зданиях [1–2]. Таким образом, снижение затрат на потребление электроэнергии промышленными предприятиями позволяет существенно повысить экономическую эффективность и устойчивость их деятельности, а также обеспечить конкурентоспособность производимой продукции на экспортных рынках. С 2005 г. в России начал функционировать рынок электроэнергии, механизмы которого формируют гибкие условия для ценообразования на электроэнергию, закупаемую промышленными предприятиями. В условиях развития цифровизации промышленного энергопотребления формируются новые направления, призванные снизить затраты на закуп электроэнергии

в промышленности; среди них можно выделить механизм управления спросом на потребление электроэнергии [3–4].

Анализ действующих условий ценообразования на отпускаемую электроэнергию для промышленных предприятий России, присоединенных к электрическим сетям производителей электроэнергии, выявил варианты, в рамках которых стоимость закупаемой электроэнергии по компоненту услуг по передаче электроэнергии завышается. Выявленное завышение затрат на закуп электроэнергии можно минимизировать с помощью применения инструмента управления спросом на промышленном предприятии.

Таким образом, целью исследования является разработка модели управления спросом на электроэнергию промышленных предприятий, подключенных к сетям производителей электроэнергии, призванной минимизировать стоимость закупаемой электроэнергии по компоненту услуг по передаче электроэнергии.

Гипотеза исследования заключается в возможности снижения затрат на закуп электроэнергии промышленных предприятий по компоненту услуг по передаче электроэнергии, реализуемой с помощью ценозависимого управления собственным электропотреблением на основе управления графиками работы технологических процессов.

Вопросу совершенствования использования тарифных механизмов ценообразования на отпуск электроэнергии в промышленности посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых [5–7]. Во многих иссле-

дованиях рассматривается совершенствование механизмов ценообразования на отпускаемую электроэнергию, направленное на повышение эффективности деятельности как энергокомпаний, так и потребителей электроэнергии. Среди таких работ можно выделить труды А. А. Ишеналиева [8], Д. А. Васильева [9], И. Е. Мизиковского и А. А. Баженова [10], А. В. Изотова [11]. Часть отечественных научных исследований посвящена повышению эффективности применения дифференцированных тарифов на отпуск электроэнергии для повышения эффективности функционирования энергосистемы. Среди них можно выделить труды К. С. Мокрова [12], В. М. Постолатий и соавт. [13], Н. В. Аксенова и Н. В. Гусева [14]. Также существуют исследования, посвященные повышению эффективности применения тарифов на передачу электроэнергии и снижению затрат на оплату услуг по передаче электроэнергии на основе выравнивания графиков электрических нагрузок (труды С. А. Коваленко и К. И. Сафонова [15], М. И. Степанищевой [16], Н. В. Печеник и соавт. [17]).

Однако, несмотря на проработку вопросов снижения затрат на энергоресурсы промышленных предприятий, остается неисследованной проблема управления затратами на оплату компонента услуг по передаче электроэнергии для промышленных предприятий, подключенных к электрическим сетям производителей электроэнергии. Учитывая высокую долю компонента передачи электроэнергии в структуре конечных тарифов для промышленных предприятий России, а также ежегодный рост тарифов для промышленных предприятий, поиск решений для оптимизации затрат на закуп электроэнергии для промышленных предприятий имеет высокую научную и практическую ценность.

Представленная работа продолжает цикл исследований автора в области ценозависимого управления спросом на потребление электроэнергии промышленных предприятий, действующих в условиях оптового и розничного рынков электроэнергии России [18–20] и включает рассмотрение управления тарифом на передачу электроэнергии для промышленных предприятий, подключенных к электрическим сетям производителей электроэнергии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Одним из основных компонентов стоимости электроэнергии, оплачиваемой промышленными предприятиями России, является компонент стоимости услуг по передаче электроэнергии, который отражает операционные и инвестиционные затраты электросетевой инфраструктуры на обеспечение бесперебойного и надежного энергоснабжения потребителей. Общий оборот деятельности по оказанию услуг по передаче электроэнергии в России составляет более 1 трлн руб. ежегодно, что определяет наличие значительного потенциала снижения энергозатрат в масштабах электросетевого комплекса страны [21].

В рамках проведенного исследования были использованы данные о действующих в регионах Уральского и Сибирского федеральных округов тарифах на передачу электроэнергии, утвержденных региональными органами исполнительной власти в области регулирования тарифов, а также фактические данные графиков потребления электроэнергии различными типами промышленных предприятий. В процессе исследования использовались методы анализа, синтеза, математического моделирования, что объясняется необходимостью анализа и расчета показателей стоимости компонента услуг по передаче электроэнергии для различных вариантов графиков электропотребления промышленных предприятий. Новизной авторского подхода является моделирование стоимости компонента услуг по передаче электроэнергии на примере графиков электропотребления, имеющих различные коэффициенты заполнения суточного графика нагрузки.

Для промышленных предприятий расчет стоимости оплаты услуг по передаче электроэнергии может выполняться двумя способами: в одноставочном и двухставочном выражении. Одноставочный тариф на передачу электроэнергии не предусматривает возможности формирования тарифа на передачу электроэнергии в зависимости от характеристики графика спроса на электроэнергию промышленного предприятия, а двухставочный тариф предусматривает такую возможность [22]. Принцип ценообразования на оказание услуг по передаче электроэнергии для промышленных предприятий зависит от ха-

рактических характеристик неравномерности собственных графиков электрических нагрузок, что дает возможность управления собственными затратами на электропотребление.

При этом ряд промышленных предприятий в России имеет технологическое присоединение напрямую к энергетическим установкам производителя электрической энергии, т. е. к электрическим сетям электростанций (рис. 1). В промышленности СССР и России исторически складывалось так, что электростанции

строились вблизи промышленных предприятий, что позволяло снижать затраты на транспортировку электроэнергии. Таким образом, электростанции строили вплотную к промышленным предприятиям, чтобы обеспечить их технологическое присоединение напрямую к распределительным устройствам электростанций [18]. Также ряд промышленных предприятий России имел собственные электростанции, которые в 1990-х гг. были переданы на баланс предприятий РАО ЕЭС России.

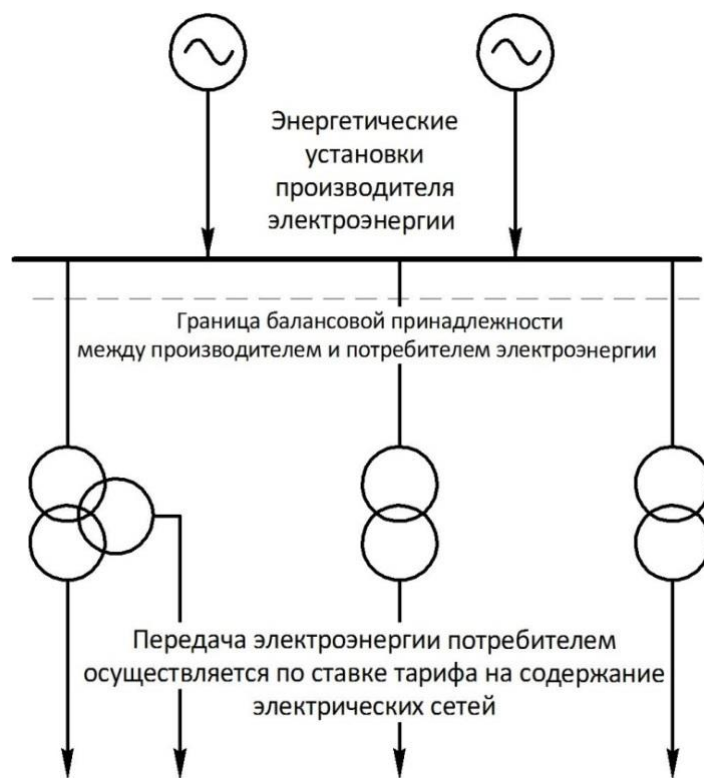


Рис. 1. Пример технологического присоединения промышленных потребителей электроэнергии к электрическим сетям производителей электроэнергии

Примечание: составлено автором.

Таким образом, для организации энергоснабжения таких промышленных потребителей не используются сети электросетевых организаций. В таком случае оплата услуг по передаче электроэнергии все равно будет производиться, но стоимость услуг по передаче будет рассчитываться на основе формулы (1) [19]:

$$СП2_m^{ГН} = СП2_m^{Содерж}, \quad (1)$$

где $СП2_m^{ГН}$ – стоимость оплаты услуг по передаче электроэнергии для промышленных предприятий, подключенных к энергетиче-

ским установкам производителя электрической энергии (руб.);

$СП2_m^{Содерж}$ – стоимость услуги по передаче электроэнергии по двухставочному тарифу, учитывающему стоимость содержания электрических сетей в расчетный месяц ($\text{кВт} \times \text{мес}$) (2) [20].

$$СП2_m^{Содерж} = T_m^{Содерж} \times ВП2_m, \quad (2)$$

где $T_m^{Содерж}$ – ставка тарифа за содержание электрических сетей в расчетном месяце, действующего на территории субъекта РФ ($\text{руб/кВт} \times \text{мес.}$) [18];

$VP2_m$ – величина, принимаемая для расчета обязательств по оплате за содержание электрических сетей в расчетном месяце (кВтч в месяц) (3) [23].

$$VP2_m = \sum_{\text{раб},m} \max (W_{T_{\text{пик_CO}}}^{\text{мес}}) / n_{\text{раб},m}, \quad (3)$$

где $\max (W_{T_{\text{пик_CO}}}^{\text{мес}})$ – максимальная величина потребления электроэнергии промышленного

предприятия в период интервалов плановых часов пиковой нагрузки $T_{\text{пик_CO}}$, утверждаемых Системным оператором ЕЭС для рабочего дня расчетного месяца (кВтч в месяц).

Примеры расчета составляющей величины, принимаемой для расчета обязательств по оплате за содержание электрических сетей в расчетном месяце, представлены на рис. 2.

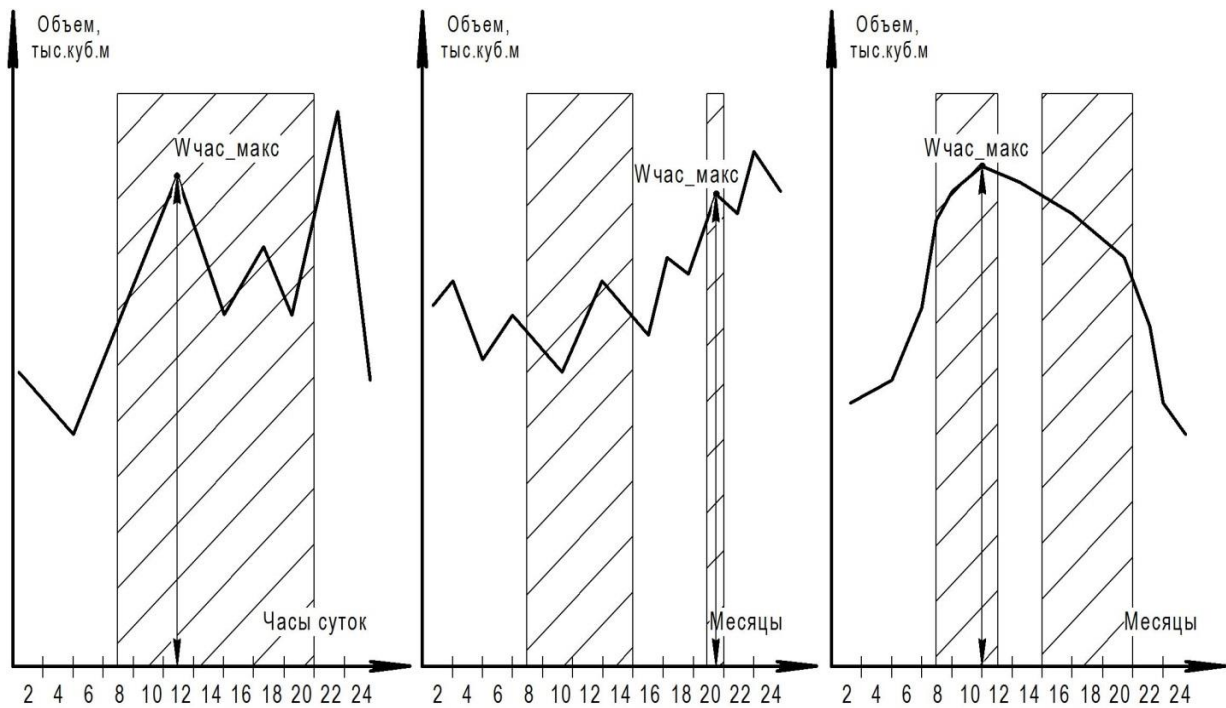


Рис. 2. Примеры определения составляющей величины, принимаемой для расчета обязательств по оплате за содержание электрических сетей
Примечание: составлено автором на основе интервалов плановых часов пиковой нагрузки.

Как следует из представленных примеров, для расчета обязательств по оплате за содержание электрических сетей принимается максимальное значение собственного суточного потребления электроэнергии промышленного предприятия за рабочий день, с учетом интервалов, которые входят в периоды плановых часов пиковой нагрузки. Примеры интервалов плановых часов пиковой нагрузки, действующих на территории европейской зоны рынка электроэнергии России, представлены на рис. 3. Как следует из представленных интервалов, периоды плановых часов пиковой нагрузки действуют в дневные периоды, незначительно сменяясь в разные месяцы календарного года.

Средневзвешенный тариф на передачу электроэнергии для каждого промышленного предприятия, присоединенного к электрическим сетям производителей электроэнергии, будет рассчитываться по формуле (4) [24]:

$$ТП2_m^{\text{ГН}} = SP2_m^{\text{ГН}} / \sum_t W_t^{\text{мес}}, \quad (4)$$

где $ТП2_m^{\text{ГН}}$ – средневзвешенный тариф на передачу электроэнергии для каждого промышленного предприятия за календарный месяц (руб/кВтч);

$\sum_{\text{мес}} W_t$ – объем почасового потребления электроэнергии промышленного предприятия за календарный месяц (кВтч).

	январь.21	февраль.21	март.21	апрель.21	май.21	июнь.21	июль.21	август.21	сентябрь.21	октябрь.21	ноябрь.21	декабрь.21
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												

Рис. 3. Интервалы плановых часов пиковой нагрузки, действующих на территории европейской зоны рынка электроэнергии России за 2021 г.
Примечание: составлено автором по [25].

При этом если бы промышленное предприятие не было присоединено к электрическим сетям производителя электроэнергии, оно имело бы право выполнять расчеты за передачу электроэнергии по одноставочному тарифу, который рассчитывается по формуле (5):

$$СП1_{\text{мес}} = СП1_m^{\text{Передача}} \times \sum_{\text{мес}} W_t, \quad (5)$$

где $СП1_{\text{мес}}$ – стоимость услуг по передаче электроэнергии по одноставочному тарифу за календарный месяц (руб.);

$СП1_m^{\text{Передача}}$ – одноставочный тариф на услугу по передаче электроэнергии по одноставочному тарифу за календарный месяц, действующий на территории субъекта РФ (руб/кВтч).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки альтернативных вариантов средневзвешенной стоимости оказания услуг по передаче электроэнергии в различных вариантах тарифов приведем примеры расчетов на базе трех вариантов графиков спроса на электропотребление, имеющих различные показатели коэффициента заполнения суточного графика нагрузки. На рис. 4 представлены примеры графиков почасовых электрических нагрузок за типовые сутки. Представленные графики имеют различные показатели коэффициента заполнения суточного графика нагрузки, при этом суммарное суточное потребление электроэнергии в рамках указанных графиков является одинаковым (табл. 1).

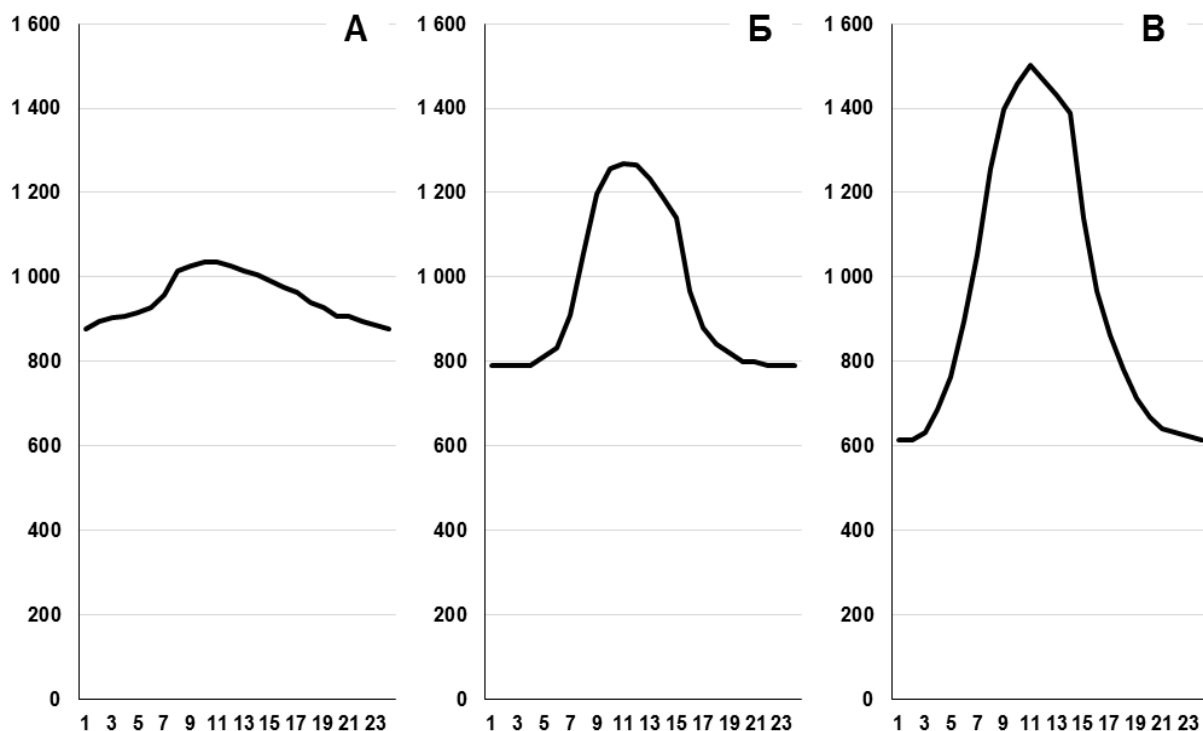


Рис. 4. Почасовые графики электрических нагрузок за типовые сутки

Примечание: составлено автором на основе типовых графиков
электропотребления промышленных предприятий.

Таблица 1

Характеристики почасовых графиков электрических нагрузок за типовые сутки

№ пп	Параметры	График А	График Б	График В
1	Коэффициент заполнения суточного графика нагрузки	1,09	1,34	1,58
2	Суточный объем потребления электроэнергии (кВтч)	22 800	22 800	22 800
3	Суточный максимум потребления электроэнергии (кВт)	1 035	1 270	1 501
4	Среднесуточное потребление электроэнергии (кВтч)	950	950	950

Примечание: составлено автором на основе анализа полученных графиков электропотребления.

Для трех исследуемых вариантов почасовых конфигураций графиков спроса на потребление электроэнергии проведен расчет средневзвешенной стоимости услуг по

передаче электроэнергии для рассматриваемых вариантов графиков спроса на примере регионов Уральского и Сибирского федеральных округов (табл. 2).

Таблица 2

Расчет средневзвешенной стоимости услуг по передаче электроэнергии для рассматриваемых вариантов графиков спроса на примере регионов Уральского и Сибирского федеральных округов

Федеральные округа	Регионы	Одноставочный средневзвешенный тариф на передачу электроэнергии (руб/кВтч)		
		График А	График Б	График В
Уральский федеральный округ	Курганская область	0,982	0,982	0,982
	Свердловская область	1,019	1,019	1,019
	Тюменская область	1,412	1,412	1,412
	Челябинская область	1,346	1,346	1,346

Окончание табл. 2

Федеральные округа	Регионы	Одноставочный средневзвешенный тариф на передачу электроэнергии (руб/кВтч)		
		График А	График Б	График В
Сибирский федеральный округ	Республика Алтай	0,878	0,878	0,878
	Республика Тыва	3,517	3,517	3,517
	Республика Хакасия	0,747	0,747	0,747
	Алтайский край	0,878	0,878	0,878
	Красноярский край	1,019	1,019	1,019
	Иркутская область	0,444	0,444	0,444
	Кемеровская область	1,450	1,450	1,450
	Новосибирская область	1,112	1,112	1,112
	Омская область	0,840	0,840	0,840
	Томская область	1,282	1,282	1,282
		Средневзвешенный тариф на передачу электроэнергии для потребителей, присоединенных к электрическим сетям производителей электроэнергии (руб/кВтч)		
		График А	График Б	График В
Уральский федеральный округ	Курганская область	0,911	1,118	1,322
	Свердловская область	0,861	1,056	1,249
	Тюменская область	1,519	1,864	2,204
	Челябинская область	0,958	1,176	1,390
Сибирский федеральный округ	Республика Алтай	0,818	1,003	1,186
	Республика Тыва	5,060	6,209	7,341
	Республика Хакасия	0,820	1,006	1,189
	Алтайский край	0,818	1,003	1,186
	Красноярский край	0,876	1,075	1,271
	Иркутская область	0,408	0,501	0,592
	Кемеровская область	1,380	1,694	2,002
	Новосибирская область	1,045	1,283	1,517
	Омская область	0,819	1,005	1,188
	Томская область	1,362	1,671	1,976
		Разница в средневзвешенных тарифах на передачу электроэнергии (руб/кВтч)		
		График А	График Б	График В
Уральский федеральный округ	Курганская область	0,071	-0,136	-0,340
	Свердловская область	0,158	-0,037	-0,230
	Тюменская область	-0,107	-0,452	-0,792
	Челябинская область	0,388	0,170	-0,044
Сибирский федеральный округ	Республика Алтай	0,060	-0,125	-0,308
	Республика Тыва	-1,543	-2,692	-3,824
	Республика Хакасия	-0,073	-0,259	-0,442
	Алтайский край	0,060	-0,125	-0,308
	Красноярский край	0,143	-0,056	-0,252
	Иркутская область	0,036	-0,057	-0,148
	Кемеровская область	0,070	-0,244	-0,552
	Новосибирская область	0,067	-0,171	-0,405
	Омская область	0,021	-0,165	-0,348
	Томская область	-0,080	-0,389	-0,694

Примечание: составлено автором на основе расчета параметров региональных тарифов на передачу электроэнергии.

Как следует из табл. 2, средневзвешенные тарифы на передачу электроэнергии для эквивалентных конфигураций графиков электропотребления для различных регионов не являются одинаковыми, что связано с отли-

чиями объемов и структуры тарифов на передачу электроэнергии в этих регионах [26]. Таким образом, рассчитанные показатели одноставочных средневзвешенных тарифов на передачу электроэнергии и средневзве-

шенных тарифов на передачу электроэнергии для потребителей, присоединенных к электрическим сетям производителей электроэнергии, различаются.

Показатели разницы в исследуемых средневзвешенных тарифах на передачу электроэнергии также неодинаковы для различных рассматриваемых вариантов графиков электропотребления. Для графика «А» разница средневзвешенных тарифов в большей части регионов складывается в пользу тарифа, действующего для промышленных предприятий, присоединенных к сетям производителей электроэнергии. Для графиков «Б» и «В», наоборот, разница средневзвешенных тарифов складывается в пользу одноставочного тарифа на передачу электроэнергии. При этом разница исследуемых тарифов для графика «В» существеннее, чем для графика

«Б». Это связано с влиянием характеристики величины $W_{\text{час_макс}}$, участвующей в формуле расчета стоимости услуг по передаче электроэнергии. Чем выше показатель $W_{\text{час_макс}}$ промышленного предприятия в интервалах плановых часов пиковой нагрузки, тем выше средневзвешенный тариф на передачу электроэнергии [7].

Для наглядности оценки величины различия средневзвешенных цен на оказание услуг по передаче электроэнергии, графики разницы средневзвешенных тарифов по передаче электроэнергии для рассматриваемых вариантов представлены на рис. 5. Как следует из графиков, для всех региональных вариантов расчетов графика «В» разница средневзвешенных тарифов увеличивается по сравнению с другими рассматриваемыми вариантами конфигурации графика спроса.

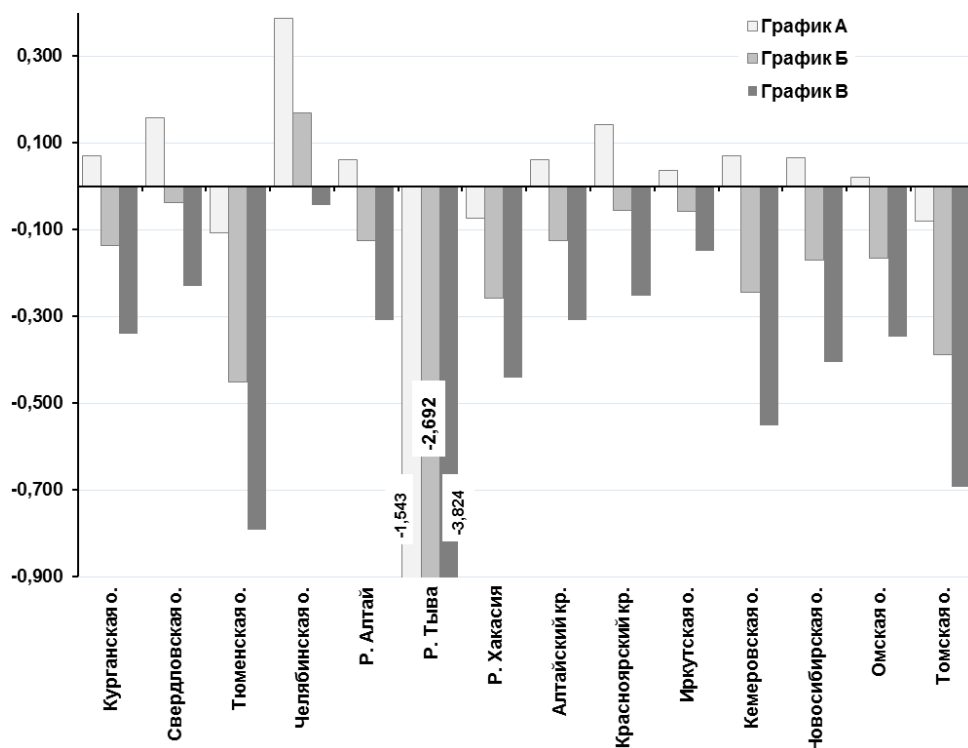


Рис. 5. Графики разницы средневзвешенных тарифов по передаче электроэнергии для рассматриваемых вариантов (руб/кВтч)
Примечание: составлено автором на основе проведенных расчетов.

Таким образом, на основании результатов полученных расчетов можно констатировать, что на величину средневзвешенных тарифов по передаче электроэнергии оказывает существенное влияние показатель $W_{\text{час_макс}}$, оптимизация величины которого может суще-

ственно сократить средневзвешенные тарифы на передачу электроэнергии для промышленных предприятий. Оптимизация параметра $W_{\text{час_макс}}$ может быть выполнена на основе управления собственным спросом на потребление электроэнергии промышлен-

ного предприятия. На рис. 6 представлена разработанная модель управления спросом на электроэнергию промышленных предприятий, подключенных к сетям производителей электроэнергии.

Значительная часть разработанной модели посвящена аналитической работе по прогнозированию параметров графиков спроса на потребление электроэнергии и моделированию параметров стоимости закупок электроэнергии в различных сценариях управления графиком спроса. Результатом проведения анализа является решение по оптимизации

графиков почасового суточного спроса на потребление электроэнергии для снижения величины $W_{\text{час_макс}}$, с учетом критериев экономической эффективности, технологических возможностей, системной устойчивости. После разработки оптимального решения корректировки почасового графика спроса и внедрения этого решения в деятельность промышленного предприятия производится систематическая оценка экономического эффекта, устранение ошибок и дальнейшее совершенствование модели управления.

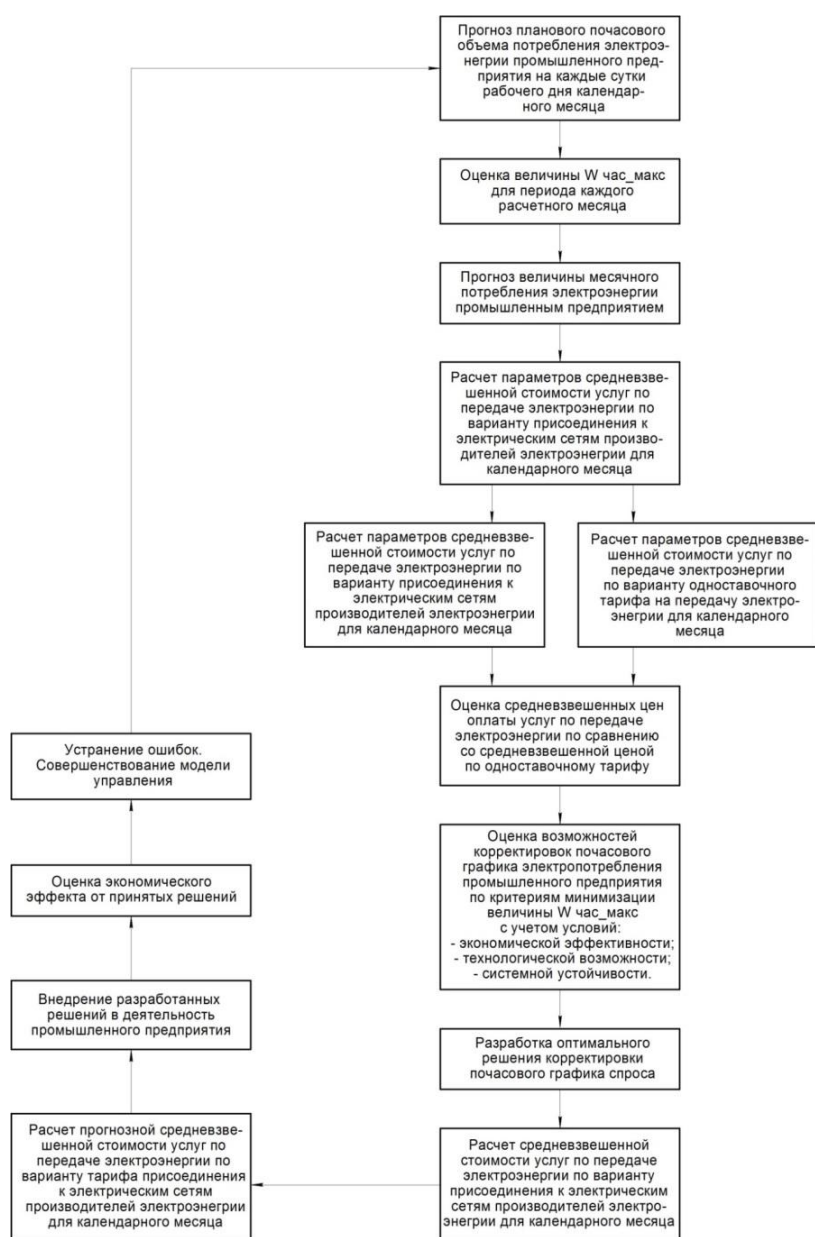


Рис. 6. Модель управления спросом на электроэнергию промышленных предприятий, подключенных к сетям производителей электроэнергии

Примечание: разработано автором.

На рис. 7 представлены примеры почасовых графиков электрических нагрузок за типовые сутки до и после управления спросом. Как следует из представленных примеров, для некоторых графиков спроса оптимизация может не понадобиться, для некоторых графиков, в зависимости от внутренних возможностей предприятия, оптимизация может

быть значительной либо поверхностной [27–28]. При этом полученные решения позволяют промышленным предприятиям, подключенным к электрическим сетям производителей электроэнергии, существенно сократить затраты на закуп электроэнергии по критериям стоимости услуг по передаче электроэнергии.

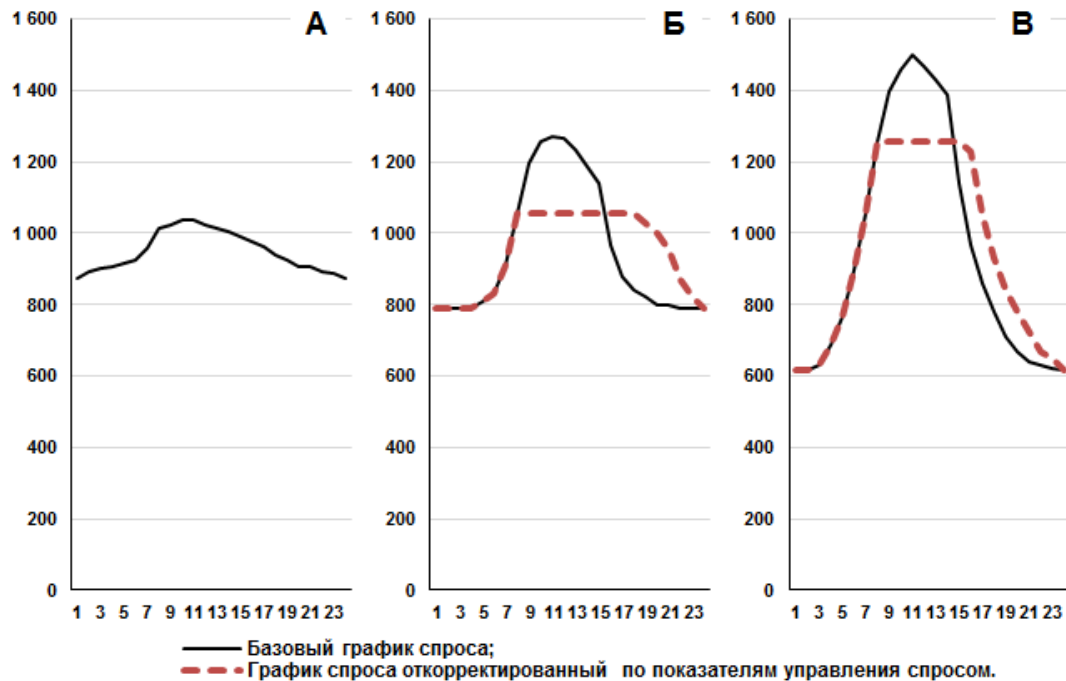


Рис. 7. Почасовые графики электрических нагрузок за типовые сутки до и после управления спросом

Примечание: составлено автором на основе типовых графиков электропотребления промышленных предприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы:

1) действующие условия ценообразования на оплату компонента услуг по передаче электроэнергии для промышленных предприятий, напрямую подключенных к электрическим сетям производителей электроэнергии, имеют особенность, связанную с определением стоимости услуг по передаче электроэнергии исключительно на основе характеристик собственного почасового профиля электропотребления. Это ограничивает возможности промышленных предприятий по выбору конфигурации вариантов тарифов оплаты услуг по передаче электроэнергии и определяет наличие рисков увеличения стоимости закупаемой электроэнергии;

2) эмпирическое исследование параметров средневзвешенных тарифов на передачу электроэнергии, действующих на территориях Уральского и Сибирского федеральных округов для различных конфигураций почасового суточного графика электропотребления, показало, что с ростом показателя коэффициента заполнения суточного графика нагрузки средневзвешенная стоимость услуг по передаче электроэнергии для промышленных предприятий, подключенных к электрическим сетям производителей электроэнергии, существенно превышает стоимость электроэнергии для промышленных предприятий, не имеющих прямого технологического присоединения к электрическим сетям производителей электроэнергии;

3) для решения проблемы завышенных тарифов на передачу электроэнергии автомобилем предложена модель управления спросом на электроэнергию промышленных предприятий, подключенных к сетям производителей электроэнергии, основанная на прогнозировании и последующей оценке стоимостных параметров оплаты услуг по передаче электроэнергии до и после корректировок почасовых суточных графиков электропотребления промышленных предприятий. На основе критериев экономической эффективности, с учетом технологических возможностей и системной устойчивости предложено выполнять оптимизацию суточных графиков электропотребления промышленных предприятий, что позволит снизить величину $W_{\text{час_макс}}$, рассчитываемую в процессе определения обязательств по оплате услуг по передаче электроэнергии;

4) результаты моделирования почасовых графиков электрических нагрузок промышленных предприятий за типовые сутки до и после управления спросом показывают, что для некоторых графиков спроса оптимизация может не понадобиться, для некоторых графиков, в зависимости от внутренних возможностей предприятия, оптимизация может быть значительной либо поверхностной. Разработанные решения позволяют промышленным предприятиям, подключенным к электрическим сетям производителей электроэнергии, снижать собственные затраты на закуп электроэнергии, что способствует повышению экономической эффективности и финансовой устойчивости их деятельности.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследование выполнено при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013), соглашение № 02.A03.21.0011.

ЛИТЕРАТУРА

1. Emec S., Kuschke M., Chemnitz M. Potential for Demand Side Management in Automotive Manufacturing // Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT EUROPE). 2013. P. 1–5. DOI 10.1109/ISGTEurope.2013.6695303.
2. Feng J., Zeng B., Zhao D. et al. Evaluating Demand Response Impacts on Capacity Credit of Renewable Distributed Generation in Smart Distribution Systems // IEEE Access. 2018. Vol. 6. P. 14307–14317. DOI 10.1109/ACCESS.2017.2745198.
3. Abahussain M., Christie R. D. Optimal Scheduling of a Natural Gas Processing Facility with Price-based Demand Response // 2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting. 2013. P. 1–5. DOI 10.1109/PESMG.2013.6672280.
4. Albadi M. H., El-Saadany E. F. Demand Response in Electricity Markets: An Overview // 2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting. 2007. P. 1–5. DOI 10.1109/PES.2007.385728.
5. Lino P., Valenzuela P., Ferreira R. S. et al. Energy Tariff and Demand Response in Brazil: an Analysis of Recent Proposals from the Regulator // IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies. ISGT Latin America. 2011. P. 1–5. DOI 10.1109/ISGT-LA.2011.6083207.
6. Raad A., Junior P., Vaz A. The Demand Side Management Market in Brazil: Demand Controller and Differentiate Tariffs // XVI SNPTEE, Campinas, SP. 2001. P. 362–369.
7. Любимова Н. Г., Порцина Е. Н. Анализ зарубежных методов регулирования тарифов на услуги по передаче электрической энергии сетевыми организациями // Инновации и инвестиции. 2020. № 1. С. 163–167.

REFERENCES

1. Emec S., Kuschke M., Chemnitz M. Potential for Demand Side Management in Automotive Manufacturing // Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT EUROPE). 2013. P. 1–5. DOI 10.1109/ISGTEurope.2013.6695303.
2. Feng J., Zeng B., Zhao D. et al. Evaluating Demand Response Impacts on Capacity Credit of Renewable Distributed Generation in Smart Distribution Systems // IEEE Access. 2018. Vol. 6. P. 14307–14317. DOI 10.1109/ACCESS.2017.2745198.
3. Abahussain M., Christie R. D. Optimal Scheduling of a Natural Gas Processing Facility with Price-based Demand Response // 2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting. 2013. P. 1–5. DOI 10.1109/PESMG.2013.6672280.
4. Albadi M. H., El-Saadany E. F. Demand Response in Electricity Markets: An Overview // 2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting. 2007. P. 1–5. DOI 10.1109/PES.2007.385728.
5. Lino P., Valenzuela P., Ferreira R. S. et al. Energy Tariff and Demand Response in Brazil: an Analysis of Recent Proposals from the Regulator // IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies. ISGT Latin America. 2011. P. 1–5. DOI 10.1109/ISGT-LA.2011.6083207.
6. Raad A., Junior P., Vaz A. The Demand Side Management Market in Brazil: Demand Controller and Differentiate Tariffs // XVI SNPTEE, Campinas, SP. 2001. P. 362–369.
7. Liubimova N. G., Portsina E. N. Analiz zarubezhnykh metodov regulirovaniia tarifov na uslugi po peredache elektricheskoi energii setevymi organizatsiiami // Innovatsii i investitsii. 2020. No. 1. P. 163–167. (In Russian).

8. Ишеналиев А. А. Повышение экономической эффективности энергоснабжающих организаций в условиях государственного регулирования тарифов для конечных потребителей // Актуальные научные исследования в современном мире. 2020. № 11–10 (67). С. 133–140.
9. Васильев Д. А. Новое в государственном регулировании тарифов электроэнергетических компаний // Экономика и предпринимательство. 2019. № 9 (110). С. 161–166.
10. Мизиковский И. Е., Баженов А. А. Проблемы применения метода экономически обоснованных расходов (тарифов) при ценообразовании в электроэнергетике // Финансовый менеджмент. 2016. № 2. С. 101–107.
11. Изотова А. В. Особенности государственного регулирования цен (тарифов) в сфере электроэнергетики // Правовой энергетический форум. 2015. № 4. С. 12–20.
12. Мокрова К. С. Формирование дифференцированных тарифов на электроэнергию в зависимости от уровня надежности энергоснабжения потребителей // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2016. № 1 (45). С. 56–61.
13. Постолатий В. М., Берзан В. П., Быкова Е. В., Гродецкий М. В., Анисимов В. К. Влияние тарифов на развитие экономики и энергетики // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. 2015. № 1 (16). С. 188–194.
14. Аксенов Н. В., Гусева Н. В. Применение многоставочных тарифов на электроэнергию для повышения экономичности работы энергосистемы // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. 2014. № 13 (70). С. 179–182.
15. Коваленко С. А., Сафонова К. И. Как усовершенствовать методику расчета тарифов на услуги по передаче и распределению электрической энергии // Известия Дальневосточ. федер. ун-та. Экономика и управление. 2014. № 4 (72). С. 81–92.
16. Степанищева М. И. Отраслевые и региональные особенности расчета тарифов за электроэнергию в современной экономике России // Казан. экон. вестн. 2014. № 5 (13). С. 120–124.
17. Печеник Н. В., Самойлик А. В., Курбака Г. В. Эффективность выравнивания тарифов электрической нагрузки энергосистемы как составляющая управления режимом электропотребления промышленного предприятия // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2014. № 10 (129). С. 2–6.
18. Дзюба А. П., Соловьева И. А. Управление спросом на энергоресурсы в промышленных комплексах и регионах. Челябинск : ИЦ ЮУрГУ, 2019. 239 с.
19. Баев И. А., Соловьева И. А., Дзюба А. П. Управление затратами на услуги по передаче электроэнергии в промышленном регионе // Экономика региона. 2018. Т. 14, № 3. С. 899–913.
20. Дзюба А. П., Соловьева И. А. Интегрирование систем малой распределенной энергетики в мо-
8. Ishenaliev A. A. Povyshenie ekonomicheskoi effektivnosti energosnabzhaiushchikh organizatsii v usloviakh gosudarstvennogo regulirovaniia tarifov dlia konechnykh potrebitelei // Aktualnye nauchnye issledovaniia v sovremennom mire. 2020. No. 11–10 (67). P. 133–140. (In Russian).
9. Vasilev D. A. Novoe v gosudarstvennom regulirovanii tarifov elektroenergeticheskikh kompanii // Ekonomika i predprinimatelstvo. 2019. No. 9 (110). P. 161–166. (In Russian).
10. Mizikovskii I. E., Bazhenov A. A. Problemy primeneniia metoda ekonomicheskii obosnovannykh raskhodov (tarifov) pri tsenoobrazovanii v elektroenergetike // Finansovyi menedzhment. 2016. No. 2. P. 101–107. (In Russian).
11. Izotova A. V. Osobennosti gosudarstvennogo regulirovaniia tsen (tarifov) v sfere elektroenergetiki // Pravovoi energeticheskii forum. 2015. No. 4. P. 12–20. (In Russian).
12. Mokrova K. S. Formirovanie differentsirovannykh tarifov na elektroenergiu v zavisimosti ot urovnia nadezhnosti energosnabzheniia potrebitelei // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regionalnoe prilozhenie. 2016. No. 1 (45). P. 56–61. (In Russian).
13. Postolatii V. M., Berzan V. P., Bykova E. V., Grodetzkii M. V., Anisimov V. K. Vliianie tarifov na razvitie ekonomiki i energetiki // Sovremennaiia nauka: issledovaniia, idei, rezul'taty, tekhnologii. 2015. No. 1 (16). P. 188–194. (In Russian).
14. Aksenov N. V., Guseva N. V. Primenenie mnogostavochnykh tarifov na elektroenergiu dlia povysheniia ekonomichnosti raboty energosistemy // Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiakh – MMTT. 2014. No. 13 (70). P. 179–182. (In Russian).
15. Kovalenko S. A., Safonova K. I. Kak usovershenstvovat metodiku rascheta tarifov na uslugi po peredache i raspredeleniiu elektricheskoi energii // Izvestiia Dalnevostoch. feder. un-ta. Ekonomika i upravlenie. 2014. No. 4 (72). P. 81–92. (In Russian).
16. Stepanishcheva M. I. Otrasleyve i regionalnye osobennosti rascheta tarifov za elektroenergiu v sovremennoi ekonomike Rossii // Kazan. ekon. vestn. 2014. No. 5 (13). P. 120–124. (In Russian).
17. Pechenik N. V., Samoilik A. V., Kurbaka G. V. Effektivnost vyravnivaniya tarifov elektricheskoi nagruzki energosistemy kak sostavliaiushchaia upravleniia rezhimom elektropotrebleniia promyshlennogo predpriatiia // Energoberezhenie. Energetika. Energoaudit. 2014. No. 10 (129). P. 2–6. (In Russian).
18. Dzyuba A. P., Soloveva I. A. Upravlenie sprosom na energoresursy v promyshlennykh kompleksakh i regionakh. Chelyabinsk : ITs YuUrGU, 2019. 239 p. (In Russian).
19. Baev I. A., Soloveva I. A., Dzyuba A. P. Upravlenie zatratami na uslugi po peredache elektroenergii v promyshlennom regione // Ekonomika regiona. 2018. Vol. 14, No. 3. P. 899–913. (In Russian).
20. Dzyuba A. P., Soloveva I. A. Integrirovaniye sistem maloi raspredelennoi energetiki v model tsenozavisimogo upravleniia sprosom na elektropotreblenie // Problemy ekonomiki i upravleniia neftegazovym kompleksom. 2018. No. 5. P. 39–49. (In Russian).

- дель ценозависимого управления спросом на электропотребление // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2018. № 5. С 39–49.
21. Зиновьева Е. Н. Совершенствование методов формирования тарифов на передачу электроэнергии по распределительным сетям // Студенческий. 2020. № 42-4 (128). С. 45–48.
 22. Потешин М. И., Дидыч В. А., Екименко П. П., Мирошников А. В. Применение первой и третьей ценовой категории при расчетах за электроэнергию (мощность) // Сельский механизатор. 2018. № 7–8. С. 17–19.
 23. Соловьева И. А. Интеллектуальное ценозависимое управление затратами на электропотребление промышленного предприятия // Вестн. УрФУ. Сер. Экономика и управление. 2017. Т. 16, № 1. С. 27–45.
 24. Пустовит Ю. П. Принудительное изменение схемы расчетов за услуги по передаче электроэнергии («переворот котла»): проблемы законодательства и судебной практики // Энергетика и право. 2017. № 4. С. 35–40.
 25. Плановые часы пиковой нагрузки на 2021 год для территорий, отнесенных к ценовым зонам оптового рынка электрической энергии и мощности, и территорий, отнесенных к неценовым зонам оптового рынка электрической энергии и мощности (утв. заместителем Председателя Правления АО «СО ЕЭС» С. А. Павлушко «29» декабря 2020 г.). URL: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/2021/pik_chas2021.pdf (дата обращения: 23.01.2021).
 26. Файн Б. И. Плата за мощность как механизм повышения ответственности потребителей при осуществлении технологического присоединения к электрическим сетям // Наукоеведение. 2017. Т. 9, № 6. С. 43.
 27. Воропай Н. И., Стычински З. А., Козлова Е. В., Степанов В. С., Суслов К. В. Оптимизация суточных графиков нагрузки активных потребителей // Известия РАН. Энергетика. 2014. № 1. С. 84–90.
 28. Cappers P., Goldman C., Kathan D. Demand Response in U.S. Electricity Markets: Empirical Evidence // Energy. 2010. Vol. 35, Iss. 4. P. 1526–1535. DOI 10.1016/j.energy.2009.06.029.
 21. Zinoveva E. N. Sovershenstvovanie metodov formirovaniia tarifov na peredachu elektroenergii po raspredelitel'nyim setiam // Studencheskii. 2020. No. 42-4 (128). P. 45–48. (In Russian).
 22. Poteshin M. I., Didych V. A., Ekimenko P. P., Miroshnikov A. V. Primenenie pervoi i tretei tsenovoi kategorii pri raschetakh za elektroenergiu (moshchnost) // Selskii mekhanizator. 2018. No. 7–8. P. 17–19. (In Russian).
 23. Soloveva I. A. Intellectualnoe tsenozavisimoe upravlenie zatratami na elektropotreblenie promyshlennogo predpriiatiia // Vestn. UrFU. Ser. Ekonomika i upravlenie. 2017. Vol. 16, No. 1. P. 27–45.
 24. Pustovit Yu. P. Prinuditel'noe izmenenie skhemy raschetov za uslugi po peredache elektroenergii ("perevorot kotla"): problemy zakonodatel'stva i sudebnoi praktiki // Energetika i pravo. 2017. No. 4. P. 35–40. (In Russian).
 25. Planovye chasy pikovoi nagruzki na 2021 god dlia territorii, otnesennykh k tsenovym zonam optovogo rynka elektricheskoi energii i moshchnosti, i territorii, otnesennykh k netsenovym zonam optovogo rynka elektricheskoi energii i moshchnosti (utv. zamestitелем Predsedatelya Pravleniia AO "SO EES" S. A. Pavlushko 29 dekabrya 2020 g.). URL: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/2021/pik_chas2021.pdf (accessed: 23.01.2021). (In Russian).
 26. Fain B. I. Plata za moshchnost kak mekhanizm povysheniia otvetstvennosti potrebitelei pri osushchestvlenii tekhnologicheskogo prisoedineniia k elektricheskim setiam // Naukovedenie. 2017. Vol. 9, No. 6. P. 43. (In Russian).
 27. Voropai N. I., Stychinski Z. A., Kozlova E. V., Stepanov V. S., Suslov K. V. Optimizatsiia suutochnykh grafikov nagruzki aktivnykh potrebitelei // Izvestiia RAN. Energetika. 2014. No. 1. P. 84–90. (In Russian).
 28. Cappers P., Goldman C., Kathan D. Demand Response in U.S. Electricity Markets: Empirical Evidence // Energy. 2010. Vol. 35, Iss. 4. P. 1526–1535. DOI 10.1016/j.energy.2009.06.029.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Дзюба Анатолий Петрович – кандидат экономических наук, старший научный сотрудник кафедры финансовых технологий, Высшая школа экономики и управления, Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, Россия.

E-mail: dzyuba-a@yandex.ru

ABOUT THE AUTHOR

Anatoly P. Dzyuba – Candidate of Sciences (Economics), Senior Researcher, Department of Financial Technologies, Higher School of Economics and Management, South Ural State University (NRU), Chelyabinsk, Russia.

E-mail: dzyuba-a@yandex.ru