

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА



УДК 621.311

DOI:10.30724/1998-9903-2022-24-5-120-135

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ГЕНЕРИРУЮЩЕЙ МОЩНОСТИ И ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В СРЕДНЕ-КАМЧАТСКОМ ИЗОЛИРОВАННОМ ЭНЕРГОУЗЛЕ

Белов О.А.¹, Федоров О.В.²

¹Камчатский государственный технический университет,
г. Петропавловск-Камчатский, Россия

boa-1@mail.ru

²Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
г. Нижний Новгород, Россия

fov52@mail.ru

Резюме: ЦЕЛЬ. Рассмотреть особенности расположения и общую структуру Средне-Камчатского изолированного энергоузла. Определить состав и характеристики электросетевого хозяйства Средне-Камчатского изолированного энергоузла. Рассмотреть структуру установленной электрической мощности и состав генерирующего оборудования электростанций Средне-Камчатского изолированного энергоузла. Выполнить анализ и определить основные показатели динамики потребления электроэнергии и мощности в Средне-Камчатском изолированном энергоузле. Выполнить анализ существующего баланса мощности и электрической энергии, определить основные технико-экономические параметры электроснабжения Средне-Камчатского изолированного энергоузла. Рассмотреть варианты развития системы электроснабжения Средне-Камчатского энергоузла, в том числе на основе ВИЭ. МЕТОДЫ. При решении поставленной задачи применялись методы математической обработки статистических данных и методы нормативного прогнозирования. РЕЗУЛЬТАТЫ. В статье рассмотрены вопросы по развитию сетевой инфраструктуры и генерирующих мощностей, обеспечению долгосрочного и среднесрочного спроса на электрическую энергию и мощность, формирования стабильных и благоприятных условий для привлечения инвестиций в строительство объектов электроэнергетики Средне-Камчатского изолированного энергоузла. На основе анализа энергетической структуры изолированного энергоузла и динамики электропотребления, рассчитаны действующий и перспективный балансы электроэнергии и мощности в Средне-Камчатском изолированном энергоузле. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Обеспечение надежного и эффективного электроснабжения удаленных энергетически изолированных территорий, является актуальной задачей, так как любой сбой в изолированной системе приводит к возникновению опасных кризисных явлений и существенным экономическим потерям. Представленная комплексная оценка состояния электроэнергетики в изолированном Средне-Камчатском энергоузле позволяет спрогнозировать перспективы ее развития в рамках общего развития электроэнергетического комплекса Камчатского края.

Ключевые слова: электроэнергия; система электроснабжения; энергоузел; генерирующие мощности; энерготариф; электрический баланс; гидроэнергетика.

Для цитирования: Белов О.А., Федоров О.В. Анализ структуры генерирующей мощности и динамики электропотребления в Средне-Камчатском изолированном энергоузле // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022. Т.24. № 5. С. 120-135. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-5-120-135.

ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF GENERATING CAPACITY AND DYNAMICS OF ELECTRICITY CONSUMPTION IN SREDNE-KAMCHATSKY ISOLATED POWER HUB

OA Belov¹, OV Fedorov²

¹Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

boa-1@mail.ru

²Nizhny Novgorod State Technical University by R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

fov52@mail.ru

Abstract: *THE PURPOSE.* To examine the features of the location and the overall structure of the Sredne-Kamchatsky isolated power hub. To consider the structure of installed electric capacity and the composition of generating equipment of power plants in the mentioned power hub. To determine the composition and characteristics of the electric grid economy. To analyze and determine the main indicators of electricity consumption and capacity dynamics of the hub. To perform an analysis of the existing balance of power and electric energy, to determine the main technical and economic parameters of the power supply. To consider options for the power supply system development including on the basis of renewable energy sources. *METHODS.* When solving this problem, we used methods of mathematical processing of statistical data and methods of normative forecasting. *RESULTS.* We considered the special features of generating capacities and network infrastructure development, the issues ensuring the long-term and medium-term demand for electric energy and capacity, the formation of stable and favorable conditions for attracting investment in the construction of electric power facilities. The study calculated the current and prospective balances of electricity and capacity in the discussed power hub based on the analysis of the energy structure of an isolated power unit and the dynamics of electricity consumption. *CONCLUSION.* Any failure in an isolated system leads to dangerous crisis phenomena and significant economic losses. Thus it is important to provide reliable and efficient power supply to energy isolated territories. The presented comprehensive assessment of the state of the electric power industry in the isolated Sredne-Kamchatsky power plant allows us to predict the prospects for its development within the framework of the overall development of the electric power complex of the Kamchatka Territory.

Keywords: *electric power; power supply system; power hub; generating capacities; energy tariff; electric balance; hydropower.*

For citation: Belov OA, Fedorov OV. Analysis of the structure of generating capacity and dynamics of electricity consumption in Sredne-Kamchatsky isolated power hub. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2022; 24(5):120-135. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-5-120-135.

Введение

На территории Российской Федерации существует большое количество изолированных энергоузлов, не подключенных к Единой национальной электрической сети (ЕНЭС). Введение их в структуру ЕНЭС является технически не рациональным и экономически необоснованным из-за удаленности таких объектов и низкого уровня развития их энергетической инфраструктуры.

Таким энергопроблемным регионом является Камчатский край, который находится на восточной границе России и территориально входит в состав Дальневосточного федерального округа (ДФО). Население региона составляет 313 тыс. человек. Порядка 78 % населения Камчатского края проживает в городах, 22 % населения находится в сельской местности. В состав края включены 14 муниципальных образований, в том числе 3 городских округа, 1 муниципальный округ и 10 муниципальных районов, в состав которых включены городские и сельские поселения.

Энергосистема Камчатского края работает изолированно и в ее состав входят Центральный энергоузел и 13 изолированно работающих энергоузлов. Основными компаниями, осуществляющими энергоснабжение изолированных энергоузлов Камчатского края, являются АО «Южные электрические сети Камчатки» (АО «ЮЭСК»), АО «Корякэнерго» и ПАО «Камчатскэнерго» [1,2]. Повышение надежности, безопасности и эффективности системы электроснабжения изолированных энергоузлов Камчатского края, а также снижение уровня экономически обоснованного тарифа на электроэнергию является важной и актуальной задачей. Экономически обоснованный тариф на электроэнергию на 01.01.2022 г. по АО «Корякэнерго» составил 31,94

руб./кВтч, а по АО «ЮЭСК» достиг 42,09 руб./кВтч. Решение этой задачи предлагается рассмотреть на примере Средне-Камчатского изолированного энергоузла.

Средне-Камчатский изолированный энергоузел расположен в центральной части полуострова и обеспечивает электроснабжение потребителей Мильковского и Быстринского муниципальных районов. Территориальные границы Средне-Камчатского изолированного энергоузла представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Схема территориального расположения Средне-Камчатского изолированного энергоузла: 1 – Мильковский муниципальный район; 2 – Быстринский муниципальный район

Fig. 1. The scheme of the territorial location of Sredne-Kamchatsky isolated power hub: 1 - Milkovsky municipal district; 2 - Bystrinsky municipal district

Наиболее крупный административный центр Мильковского муниципального района село Мильково с населением 7000 человек непосредственно в состав Средне-Камчатского изолированного энергоузла не входит и обеспечивается электроэнергией за счет Центрального энергоузла посредством ЛЭП 110 кВ. Перечень и краткая характеристика населенных пунктов Мильковского и Быстринского муниципальных образований Камчатского края, входящих в состав Средне-Камчатского изолированного энергоузла, представлен в таблице 1.

Таблица 1

Общий состав Средне-Камчатского изолированного энергоузла

Муниципальное образование	Поселение	Населенный пункт	Энергоисточник	Население, чел.	Расстояние до централизованных сетей, км
Мильковский муниципальный район	Атласовское сельское поселение	п. Атласово	ДЭС-14,	605	441
		с. Лазо			
		п. Таёжный	ДЭС-6	118	407
	Мильковское сельское поселение	с. Долиновка	ДЭС-19	252	367
Быстринский муниципальный район	Эссовское сельское поселение	с. Эссо	Быстринская МГЭС-4,	1917	522
		с. Анавгай			

Повышение эффективности объектов генерации в зонах децентрализованного электроснабжения несомненно является актуальной задачей, что подтверждается большим количеством исследований по данной теме. Так возможность и перспективы использования нетрадиционных возобновляемых источников электроэнергии рассмотрены в работах Безруких П.П., Тягунова М.Г., Антонова Н.В., Вагина Г.Я. и других авторов. Обоснования о необходимости развития региональной гидроэнергетики представлены в публикациях Семчева В.А. Вопросам повышения надежности и эффективности отдельных элементов системы электроснабжения посвящены научные исследования Грачевой Е.И., Ившина И.В., Галяутдиновой А.Р. В своих публикациях большинство авторов подчеркивает, что для оптимизации системы электроснабжения конкретного изолированного энергоузла необходимо найти оптимальный баланс между генерацией и потреблением электрической энергии.

Вместе с тем неоднородность структуры генерации и потребления электрической энергии в зонах децентрализованного электроснабжения не позволяет использовать какой-либо универсальный подход в решении задач оптимизации. Требуется учитывать множество дополнительных факторов, связанных с конкретным изолированным энергоузлом.

В этой связи, исследование структуры генерации Средне-Камчатского изолированного энергоузла в совокупности с анализом существующего электропотребления, а также разработка прогноза электропотребления на перспективу, имеет высокую научную и практическую значимость.

Материалы и методы

Анализ функционирования системы электроснабжения Средне-Камчатского изолированного энергоузла проводился на основе математической обработки статистических данных с использованием методов нормативного прогнозирования. Рассматривалась общая структура системы генерации в энергоузле и анализировалась динамика потребления электроэнергии и мощности за прошедший пятилетний период.

Структура генерирующей мощности.

Средне-Камчатский энергоузел сформирован на базе Быстринской мГЭС-4. В зону влияния энергоузла входят населённые пункты с. Эссо, с. Анавгай, с. Атласово и с. Лазо. Быстринская мГЭС-4 обеспечивает электроснабжение сёл по ВЛ 35 кВ мГЭС-4 – Атласово и ВЛ 35 кВ мГЭС-4 – Анавгай, ВЛ 35 кВ Эссо – Анавгай.

В энергоузле имеется резервный энергоисточник – ДЭС-14 установленной мощностью 3,68 МВт, находящийся в с. Атласово, который обеспечивает электроснабжение сёл в зимний период при нехватке воды на мГЭС-4 и в послеаварийных режимах отключения ВЛ 35 кВ.

Электрические сети 35 кВ получили развитие в 9 из 13 изолированных энергоузлах Камчатского края. Основные характеристики электросетевого хозяйства 35 кВ Средне-Камчатского изолированного энергоузла представлены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристика воздушных линий и подстанций 35 кВ

Наименование объекта	Год ввода	Длина ВЛ 35 кВ, км	Мощность ПС 35 кВ, шт. х МВА
ВЛ 35 кВ Атласово – Быстринская мГЭС-4	2001	64,35	-
ВЛ 35 кВ Быстринская мГЭС-4 – Анавгай – Эссо	1978	39,55	-
ПС 35 кВ Атласово	1993 1996	-	1х1; 1х1,6
ПС 35 кВ Анавгай	1978 1987	-	1х0,4 1х0,4
ПС 35 кВ Эссо	1987	-	2х1,6
Быстринская мГЭС-4	1987	-	1х1,6
ДЭС-14 (Атласово)	1982	-	1х1
Всего		103,9	8х7,6

В состав Средне-Камчатского энергоузла входит также изолированный Долиновский энергоузел, который удалён от Средне-Камчатского энергоузла (с. Лазо) на расстояние 75 км и от ближайших электроэнергетических объектов Центрального

энергоузла (от ПС 110 кВ Мильково) – на расстояние 65 км. Питание потребителей Долиновского изолированного энергоузла осуществляется от ДЭС-19 установленной мощностью 0,715 МВт.

Анализ технического состояния электросетевых объектов напряжением 35 кВ показывает, что 15% от общей трансформаторной мощности 35 кВ отработало более 40 лет. Воздушные линии электропередачи 35 кВ, выполненные на деревянных опорах, протяженностью 16,6 км в одноцепном исчислении (15,9 % от общей протяженности ЛЭП 35 кВ) отработали более 40 лет [3,4].

В связи с этим, требуется реконструкция электросетевых объектов 35 кВ, срок эксплуатации которых превышает нормируемый. Первоочередными сетевыми объектами требующими модернизации являются ПС 35 кВ Анавгай с заменой силовых трансформаторов 2х1 МВА на новые и ВЛ 35 кВ мГЭС-4 – Анавгай общей протяженностью 16,6 км.

Данные за 2021 г. по установленной мощности и годовой выработки электростанций Средне-Камчатского изолированного энергоузла по типам генерирующего оборудования представлены в таблице 3.

Таблица 3

Установленные мощности (на 01.01.2022 г.) и годовые выработки (за 2021 г.) электростанций Средне-Камчатского изолированного энергоузла

Населенный пункт	Наименование ген.источника	Установленная мощность, МВт	Доля, %	Годовая выработка, млн.кВт.ч	Доля, %
Суммарно по изолированным энергоузлам Камчатского края		106,79	100,0	220,647	100,0
с. Долиновка	ДЭС-19	0,72	0,7	0,924	0,4
п. Таёжный	ДЭС-6	0,21	0,2	0,261	0,1
п. Атласово	ДЭС-14	3,68	3,5	3,488	1,6
с. Эссо	Быстринская МГЭС-4	1,71	1,6	5,805	2,6
Суммарно по Средне-Камчатскому энергоузлу		6,31	6,0	10,480	4,8

Основное электрооборудование электростанций в изолированном энергоузле имеет существенные различия как по типовому составу, так и по фактическому сроку службы. Состав основного генерирующего оборудования электростанций Средне-Камчатского изолированного энергоузла компаний АО «ЮЭСК», АО «Корякэнерго», ПАО «Камчатскэнерго» (Филиал «Возобновляемая энергетика») приведен в таблице 4.

Таблица 4

Состав генерирующего оборудования электростанций Средне-Камчатского изолированного энергоузла

Наименование электростанции	Место расположения объекта	Номер агрегата	Тип оборудования	Год ввода	Вид топлива	Установленная мощность на 01.01.2022 года, МВт	Фактический срок службы, лет
ДЭС-14	п. Атласово, Мильковский район, Камчатский край	1	ДГ-72	1985	д/т	3,68	37
		2	ДГ-72	1982	д/т		40
		3	ДГ-72	1982	д/т		40
		M1	Caterpillar 3512	2013	д/т		9
ДЭС-19	с. Долиновка, Мильковский район, Камчатский край	1	Cumminc C200D5	2018	д/т	0,715	4
		2	Perkins GEP165	2014	д/т		8
		3	Perkins GEP165	2011	д/т		11
		4	ДГА-315	1990	д/т		32

Быстринская МГЭС-4	с. Эссо, Быстринский район, Камчатский край	1	Турбина ПР 510-ВБ- 120 Генератор СВ 173/31-20 УХЛ4	1996	вода	1,71	26
		2	Турбина ПР 510-ВБ- 120 Генератор СВ 173/31-20 УХЛ4	1997	вода		25
		3	Турбина ПР 510-ВБ- 120 Генератор СВ 173/31-20 УХЛ4	1998	вода		24
ДЭС-6	п. Таёжный Милюковский район, Камчатский край	1	DA-C100	2019	д/т	0,080	7
		2	BF-C65	2014	д/т	0,048	8
		3	DA-C100	2016	д/т	0,080	6

Анализ технического состояния генерирующего оборудования показывает, что из 6,31 МВт установленной мощности, 28,5% обеспечивается оборудованием с фактическим сроком службы более 30 лет. Дизельная электростанция в п. Атласово ДЭС-14 (АО «ЮЭСК») имеет фактический расход топлива 406 г.у.т/кВт.ч, что существенно превышает нормативные показатели расхода топлива относительно установленных общепромышленных показателей [5,6].

В связи с этим, требуется масштабная модернизация этих установок, либо замена их на новое современное оборудование и строительство объектов генерации на возобновляемых источниках энергии с развитием сетевой инфраструктуры для подключения потребителей.

Оценка эксплуатационной эффективности электроснабжения показала, что процент потребления электроэнергии на собственные нужды электростанций и технологические потери электроэнергии в сетях Средне-Камчатского изолированного энергоузла находятся в допустимых пределах.

Анализ динамики потребления электроэнергии и мощности.

Суммарные показатели электропотребления и средние показатели максимального потребления мощности в Средне-Камчатском энергоузле за пятилетний период представлены в таблице 5.

Таблица 5

Показатели электропотребления в Средне-Камчатском
изолированном энергоузле за пятилетний период

Наименование	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Электропотребление, млн кВтч	9,74	9,85	10,17	10,28	10,50
Абсолютный прирост электропотребления, млн кВтч	0,21	0,11	0,32	0,11	0,22
Годовой прирост электропотребления, %	2,20	1,10	3,25	1,11	2,14
Максимальное потребление мощности, МВт	2,20	2,30	2,19	2,23	2,20
Абсолютный прирост максимального потребления мощности, МВт	0,03	0,10	-0,12	0,05	-0,03
Годовой прирост максимального потребления мощности, %	1,24	4,52	-5,08	2,15	-1,35

За рассматриваемый пятилетний период с 2017 по 2021 год в Средне-Камчатском энергоузле наблюдается незначительный рост электропотребления, величина которого на 01.01.2022 г. составила 10,50 млн кВтч, что на 0,76 млн кВтч выше аналогичного показателя 2017 г.

В 2021 г. максимальное потребление мощности Средне-Камчатского энергоузла было зафиксировано на уровне 2,20 МВт, что аналогично максимальному потреблению мощности в 2017 г.

Динамика потребления электрической энергии и мощности в Средне-Камчатском энергоузле за пятилетний период наглядно представлена на диаграмме (рисунок 2).

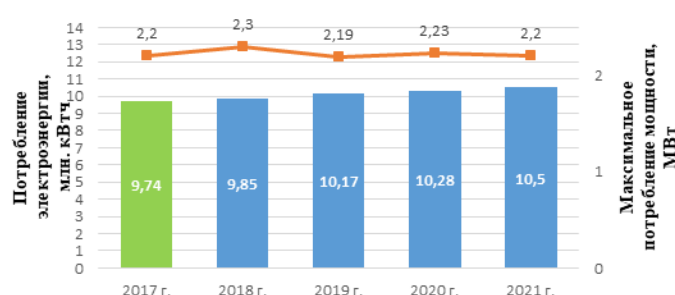


Рис.2. Динамика потребления электрической энергии и мощности

Fig. 2. Dynamics of electrical energy consumption and power

Основной причиной низкой динамики электропотребления в Средне-Камчатском изолированном энергоузле является высокий экономически обоснованный тариф на электроснабжение. Электроснабжение в энергоузле осуществляется в основном за счёт ДЭС, работающих на дорогостоящем привозном дизельном топливе. Высокая стоимость обслуживания электроэнергетических объектов обусловлена такими факторами, как сложные климатические условия (циклоны, ветровые нагрузки, гололёдообразование), географическая удаленность населенных пунктов, отсутствие развитой транспортной инфраструктуры [7,8].

Анализ баланса мощности и электрической энергии показал, что генерирующие источники Средне-Камчатского изолированного энергоузла полностью обеспечивали потребность в мощности и электроэнергии в 2021 г.

Фактический баланс мощности и электрической энергии Средне-Камчатского изолированного энергоузла за 2021 г. представлен ниже в таблице 6.

Таблица 6

Фактический баланс мощности и электрической энергии за 2021 г.

Населенный пункт	Наименование ген. источника	Максимум потребления мощности, МВт	Установленная мощность, МВт	Дефицит (-)/ Избыток (+), МВт	Годовая выработка (электропотребление), млн. кВтч	ЧЧИ собственного максимума нагрузки
с. Долиновка	ДЭС-19	0,21	0,72	+0,50	0,92	680
п. Таёжный	ДЭС-6	0,05	0,21	+0,16	0,26	1510
п. Атласово	ДЭС-14	3,19	3,68	+2,20	3,49	350
с. Эссо	Быстринская МГЭС-4		1,71		5,81	450
Суммарно по Средне-Камчатскому энергоузлу		3,45	6,32	+2,86	10,48	2990

За анализируемый период баланс мощности Средне-Камчатского изолированного энергоузла складывался избыточно по установленной мощности. При этом величина фактического резерва установленной мощности источников генерации по электростанциям находилась в диапазоне от 40% до 76%. В целом по Средне-Камчатскому изолированному энергоузлу величина фактического резерва установленной мощности источников генерации составила более 45%.

Результаты и обсуждение

На основании проведенного анализа динамики потребления электроэнергии и мощности за прошедший пятилетний период в Средне-Камчатском изолированном энергоузле разработан прогноз потребления электроэнергии и мощности.

Прогноз потребления электрической энергии и мощности в Средне-Камчатском изолированном энергоузле на пятилетний период сформирован с учетом прогноза полезного отпуска электроэнергии потребителям населенных пунктов в соответствии с информацией, предоставленной АО «ЮЭСК», АО «Корякэнерго», ПАО «Камчатскэнерго», а также с учетом изменения потребления электрической энергии и мощности в соответствии с утвержденными техническими условиями на технологическое присоединение.

Прогноз динамики электропотребления в Средне-Камчатском энергоузле на перспективу 2022-2026 гг. представлен в таблице 7.

Таблица 7

Прогноз электропотребления и максимального потребления мощности Средне-Камчатского энергоузла на перспективу 2022-2026 гг.

Наименование	2021 (отчёт)	2022	2023	2024	2025	2026
Электропотребление, млн кВтч	10,30	10,36	10,46	10,55	10,56	10,57
Абсолютный прирост электропотребления, млн кВтч	0,02	0,00	0,16	0,09	0,01	0,01
Годовой прирост электропотребления, %	0,17	0,00	1,55	0,86	0,09	0,09
Максимальное потребление мощности, МВт	2,10	2,21	2,31	2,44	2,58	2,71
Абсолютный прирост максимального потребления мощности, МВт	-0,13	0,11	0,10	0,13	0,14	0,13
Годовой прирост максимального потребления мощности, %	-5,83	5,24	4,52	5,63	5,74	5,04

В рассматриваемой перспективе значительного роста нагрузки в Средне-Камчатском изолированном энергоузле не ожидается. Прогнозируемая динамика основывается, в основном, на развитии в данном районе туристических объектов и хозяйственной деятельности.

Прогнозируемая динамика потребления электрической энергии и мощности в Средне-Камчатском изолированном энергоузле на пятилетнюю перспективу представлена в виде диаграммы на рисунке 3

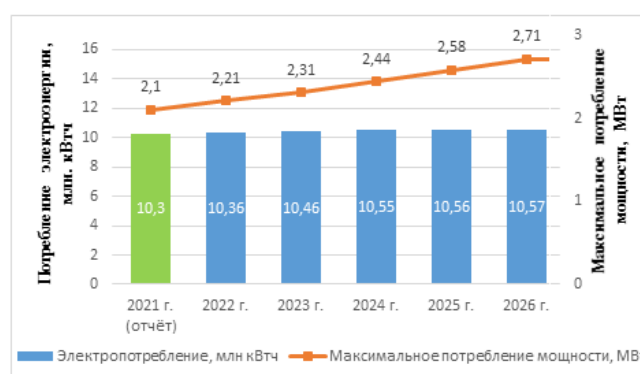


Рис.3. Прогнозируемая динамика годового электропотребления и максимального потребления мощности на перспективу 2022-2026 гг.

Fig.3. Forecasted dynamics of annual power consumption and maximum power consumption for 2022-2026

Величина годового электропотребления в 2026 г. прогнозируется на уровне 10,57 млн кВтч, что на 0,27 млн кВтч (+2,55 %) выше электропотребления 2021 г. Величина максимального потребления мощности в 2026 г. в соответствии с прогнозом составит 2,71 МВт, что на 0,61 МВт (+ 22,51 %) выше аналогичного показателя 2021 г.

Таким образом, в рассматриваемом перспективном периоде значительного роста потребления электрической энергии и мощности в энергоузле не прогнозируется.

На основе представленных прогнозов потребления электроэнергии и мощности, а также с учетом состава генерирующих источников в энергоузле сформированы перспективные балансы мощности и электроэнергии на период 2022-2026 гг. Балансы мощности и электрической энергии по электростанциям Средне-Камчатского изолированного энергоузла на пятилетний период представлены ниже в таблицах 8 и 9.

Таблица 8

Прогнозируемый баланс мощности на период 2022-2026 гг.

Населенный пункт	Наименование ген.источника	Наименование показателя	Единица измерения	2021 г. (отчет)	2022	2023	2024	2025	2026
с.Долиновка	ДЭС-19	Рмакс	МВт	0,21	0,22	0,23	0,24	0,26	0,27
		Руст	МВт	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
		Дефицит/избыток	МВт	0,50	0,49	0,48	0,47	0,46	0,45
			%	239	223	207	193	179	166
п. Таёжный	ДЭС-6	Рмакс	МВт	0,04	0,05	0,04	0,06	0,07	0,08
		Руст	МВт	0,21	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
		Дефицит/избыток	МВт	0,17	0,19	0,2	0,18	0,17	0,16
			%	425	380	500	300	243	200
п. Атласово	ДЭС-14	Руст	МВт	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68
с. Эссо	Быстринская МГЭС-4	Руст	МВт	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
	ДЭС-2	Руст	МВт	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		Рмакс	МВт	1,85	1,94	2,04	2,14	2,25	2,36
		Дефицит/избыток	МВт	3,54	4,39	4,15	4,15	4,15	4,15
			%	191	229	213	199	184	171
Суммарный баланс мощности Средне-Камчатский энергоузел		Рмакс	МВт	2,1	2,21	2,31	2,44	2,58	2,71
		Руст	МВт	6,32	7,35	7,35	7,35	7,35	7,35
		Дефицит/избыток	МВт	4,21	5,07	4,83	4,8	4,78	4,76
			%	200	229	209	197	185	176

Таблица 9

Прогнозируемый баланс электрической энергии на период 2022-2026 гг.

Прогнозируемый баланс электрической энергии на период 2022-2026 гг.									
Населенный пункт	Наименование ген.источника	Наименование показателя	Единица измерения	2021 г. (отчет)	2022	2023	2024	2025	2026
с.Долиновка	ДЭС-19	Выработка	млн. кВтч	0,92	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
		ЧЧИ	час	1292	1255	1255	1255	1255	1255
п. Таёжный	ДЭС-6	Выработка	млн. кВтч	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,24
		ЧЧИ	час	989	896	934	973	1 011	1 011
п. Атласово	ДЭС-14	Выработка	млн. кВтч	3,49	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96
		ЧЧИ	час	948	1076	1076	1076	1076	1076
с. Эссо	Быстринская МГЭС-4	Выработка	млн. кВтч	5,81	5,60	5,60	5,60	5,60	5,60
		ЧЧИ	час	3395	3274	3274	3274	3274	3274
	ДЭС-2	Выработка	млн. кВтч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		ЧЧИ	час	0	0	0	0	0	0
Суммарный баланс электроэнергетики Средне-Камчатский энергоузел		Выработка	млн. кВтч	10,43	10,67	10,68	10,69	10,7	10,7

Анализ прогнозируемых балансов мощности электростанций Средне-Камчатского изолированного энергоузла показал, что по всем генерирующим объектам, баланс мощности складывается с избытком установленной мощности на всем рассматриваемом перспективном периоде.

Балансы электроэнергии всех источников анализируемого энергоузла складываются удовлетворительно. Числа часов использования (ЧЧИ) установленной мощности электрических станций энергоузла находятся в допустимых пределах.

Варианты развития.

Особенностью и основной проблемой функционирования Средне-Камчатского изолированного энергоузла является использование дорогостоящего привозного дизельного топлива и высокая стоимость обслуживания электроэнергетических объектов, вследствие чего энергетический узел имеет высокий экономически обоснованный тариф на электроснабжение. Кроме того, анализ основных показателей работы ДЭС в Средне-Камчатском изолированном энергоузле показал, что ряд электростанций имеют завышенные показатели расхода топлива [9,10].

Оценка экономической эффективности мероприятий по замене высокочатратных ДЭС на новые с доведением удельного расхода на отпуск электроэнергии до оптимальных значений (до 370 г.у.т/кВтч.) показала их нецелесообразность. Так, расчеты ежегодного экономического эффекта по наиболее проблемной ДЭС-14 (п. Атласово) показали, что срок окупаемости капиталовложений на обновление ДЭС составит более 10 лет.

Одним из вариантов повышения эффективности электроснабжения Средне-Камчатского изолированного энергоузла является возможность строительства солнечных электростанций (СЭС). Учитывая данные по параметрам солнечной инсоляции территории энергоузла, наиболее оптимальным является использование дизель-солнечной электростанции на фотоэлектрических модулях [11,12].

В соответствии с рекомендациями рассчитаны параметры мощности, выработки и коэффициенты использования установленной мощности (КИУМ) СЭС для населенных пунктов Средне-Камчатского изолированного энергоузла и полученные значения приведены в таблице 10.

Таблица 10

Параметры СЭС для населенных пунктов Средне-Камчатского изолированного энергоузла

Населенный пункт	Мощность СЭС, кВт	Выработка СЭС, млн.кВтч	Площадь СЭС (м ²)	КИУМ
п. Атласово	403	0,407	2 298	11,5%
п. Таёжный	91	0,092	517	11,5%
с. Долиновка	1 327	1,342	7 573	11,5%
с. Эссо	3 139	3,172	17 908	11,5%

На основе КИУМ и удельных затрат на 1 кВт установленной мощности СЭС рассчитана себестоимость производства электроэнергии на СЭС. В таблице 11 приведен расчёт экономии стоимости электроэнергии на основе сравнения с существующей топливной составляющей себестоимости производства электроэнергии.

Таблица 11

Оценка экономической эффективности использования СЭС в Средне-Камчатском изолированном энергоузле

Населенный пункт	Мощность СЭС, кВт	Выработка СЭС, млн.кВтч	Капиталовложения, тыс.руб.	Себестоимость производства э/э на СЭС, руб./кВтч	Топливная составляющая себестоимости э/э, руб./кВтч	Удельная экономия стоимости э/э за счёт ввода СЭС, руб./кВтч
п. Атласово	403	0,407	40 709	14,2	15,7	1,5
п. Таёжный	91	0,092	9 154	14,2	23,4	9,2
с. Долиновка	1 327	1,342	134 178	14,2	13,9	-0,3
с. Эссо	3 139	3,172	317 293	14,2	0,0	-14,2

Расчеты, по укрупненной оценке экономической эффективности применения СЭС в Средне-Камчатском изолированном энергоузле на основе данных о себестоимости производства электроэнергии на СЭС и ее сравнения с существующей топливной составляющей себестоимости производства электроэнергии показали, что на территории рассматриваемого изолированного энергоузла строительство СЭС экономически целесообразно в п. Таёжный.

Потенциальная экономия ежегодных затрат на электроснабжение в этом случае составит порядка 845,9 тыс. рублей и прогнозируется снижение экономической обоснованного тарифа на электроэнергию за счет ввода СЭС на 9,2 руб./кВтч.

С целью повышения эффективности электроснабжения Средне-Камчатского изолированного энергоузла также целесообразно рассмотреть возможность строительства ветряных электростанций (ВЭС) на его территории. По данным наблюдений среднегодовая скорость ветра в населенных пунктах Средне-Камчатского изолированного энергоузла на высоте 30 метров составляет около 4,5 м/с [13].

В соответствии с опытом эксплуатации ВЭС в п. Усть-Камчатск, Камчатского края значение КИУМ для ВЭС при расчетах принимается на уровне 15%. Оценка экономической эффективности строительства ВЭС для населенных пунктов с наибольшим ветроэнергетическим потенциалом Средне-Камчатского изолированного энергоузла показал, что себестоимость производства электроэнергии на ВЭС составит около 14 руб./кВтч.

Расчёт удельной экономии стоимости электроэнергии за счёт ввода ВЭС на базе сравнения себестоимости электроэнергии ВЭС с существующей топливной составляющей себестоимости производства электроэнергии приведен в таблице 12.

Таблица 12

Оценка экономической эффективности использования ВЭС в Средне-Камчатском изолированном энергоузле

Населенный пункт	Мощность ВЭС, кВт	Капитало - вложения, тыс.руб.	Себестоимость производства э/э на ВЭС, руб./кВтч	Топливная составляющая себестоимости э/э, руб./кВтч	Удельная экономия стоимости э/э за счёт ввода ВЭС, руб./кВтч
п. Атласово	500	54 671	14	15,7	1,7
п. Таёжный	100	10 934	14	23,4	9,4
с. Долиновка	1500	164 013	14	13,9	-0,1
с. Эссо	3000	328026	14	0,0	-14

Из таблицы видно, что наиболее перспективным проектом может быть строительство ВЭС в п. Таежный. Однако опыт эксплуатации ВЭС на территории Камчатского края показывает, что в этом случае также необходимо наличие надежного независимого источника электроснабжения в виде ДЭС. Поэтому затраты на эксплуатацию возрастают, и фактическая удельная экономия стоимости электроэнергии при использовании ВЭС будет ниже расчетной.

С учетом мирового опыта и опыта организации электроснабжения потребителей Камчатского края наиболее перспективным вариантом развития изолированных энергоузлов является строительство малых ГЭС. Несмотря на необходимость обеспечения пропуска промысловых рыб на нерест и сохранения речных долин, используемых для сельского хозяйства, реальный для использования экономический потенциал речных гидроресурсов Камчатки составляет около 5 млрд. кВтч в год [14,15].

Оценка экономической эффективности строительства малых ГЭС для целей электроснабжения Средне-Камчатского изолированного энергоузла и расчёт себестоимости производства электроэнергии на малых ГЭС показали, что в этом случае КИУМ является максимальным и достигает 45 %, а себестоимость производства электроэнергии составит менее 4 руб./кВтч. Таким образом, величина топливной составляющей себестоимости электроэнергии по всем населенным пунктам с ДЭС значительно выше [16].

На основе сравнения себестоимости электроэнергии малых ГЭС и действующей топливной составляющей себестоимости электроэнергии в рассматриваемых населенных пунктах можно сделать вывод, что применение малых ГЭС для целей электроснабжения изолированных энергоузлов Камчатского края будет экономически выгодно во всех населенных пунктах, где в качестве топлива используется дизель, так как величина

топливной составляющей в данных населенных пунктах в несколько раз превышает себестоимость электроэнергии малых ГЭС. Таким образом, строительство малых ГЭС для целей электроснабжения изолированных энергоузлов Камчатского края экономически целесообразно [17].

В этом направлении рассматривается как потенциальный проект малой ГЭС на р. Кававля, приток р. Быстрая, мощностью 4 – 6 МВт, в Быстринском муниципальном районе. Реализация данного проекта и введение в эксплуатацию малой ГЭС значительно повысит эффективность и надежность электроснабжения в Средне-Камчатском изолированном энергоузле.

Выводы

Результаты, представленные в данной работе, согласуются с результатами исследований российских и зарубежных ученых [18, 19] и подтверждают необходимость поиска оптимального баланса между генерацией и потреблением электроэнергии, а также более широкого использования местных возобновляемых источников электроэнергии. На основании перспективного прогноза электропотребления в энергоузле и данных представленных энергокомпаниями разработаны основные направления оптимизации системы электроснабжения.

В настоящее время в системе электроснабжения Среднекамчатского изолированного энергоузла требуется масштабное обновление парка дизельных электростанций, так как около 28,5 % оборудования дизельных электростанций (1,8 МВт) отработали более 30 лет. Для повышения экономической эффективности рекомендуется в первую очередь решить проблему низкорентабельной ДЭС в п. Таежный, имеющей завышенный расход топлива. Проведенные технико-экономические расчёты показали, что в данном случае является экономически целесообразным строительство СЭС по проекту дизель-солнечной электростанции на фотоэлектрических модулях.

Средне-Камчатский изолированный энергоузел имеет высокие экономически обоснованные тарифы на электроснабжение, что в основном обусловлено тем, что электроснабжение потребителей в населенных пунктах осуществляется в основном за счёт ДЭС, работающих на дорогостоящем привозном дизельном топливе. Снижение себестоимости производства электроэнергии в энергоузле возможно за счёт реализации проектов по строительству новых малых ГЭС и освоению потенциала ветроэнергетики.

Таким образом для повышения эффективности электроснабжения в Средне-Камчатском изолированном энергоузле необходимо разработать и реализовать мероприятия по замещению дизельной генерации в населенных пунктах, а также замены устаревшего оборудования на существующих станциях.

Кроме того, для повышения надежности электроснабжения необходимо развивать и совершенствовать электросетевое хозяйство энергоузла. В Средне-Камчатском энергоузле требуется осуществить реконструкцию ПС 6/35 с. Эссо и ПС 35/6 с Анавгай с заменой 2-х ТМ 1000 кВА 35/6 на 2 ТМ 1600 кВА 35/6 на ПС 6/35 «Эссо» и с заменой 2-х ТМ-1000 кВА 35/6кВ на 2 ТМ 400 кВА 35/6кВ на ПС 35/6 «Анавгай». Необходима реконструкция ПС 35 кВ п. Атласово с заменой трансформатора ТМ-1000 кВА 35/10 кВ на ТМ 1600 кВА 35/6 кВ и установкой резервного трансформатора Т-4 ТМ 250 кВ 6/10 кВ для обеспечения технологического присоединения и увеличения мощности рыбоперерабатывающих предприятий. Также требуется реконструкция ВЛ 35 кВ мГЭС-4 – Анавгай (16,6 км), которая исчерпала нормативный срок эксплуатации [20].

Результатом реализации мероприятий развития генерирующих мощностей станет увеличение доли выработки электроэнергии за счет возобновляемых источников энергии и, как следствие, снижение количества сжигаемого углеводородного топлива, что в свою очередь позволит снизить тариф на электрическую энергию в Средне-Камчатском энергоузле.

Принимая во внимание высокие капитальные затраты на реализацию инновационных мероприятий развития необходима поддержка федерального бюджета и включение ряда предлагаемых мероприятий в профильные федеральные программы.

Литература

1. Белов О.А. Состояние электроэнергетики Камчатского края и перспективы ее развития // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2021. Т. 21. № 4. С. 48-56.
2. Белов О.А. Анализ структуры генерирующей мощности в изолированных энергоузлах Камчатского края // Сборник трудов II всероссийской научно-практической

конференции «Энергетика будущего - цифровая трансформация»; 15-17 декабря 2021 г., Липецк. Липецкий государственный технический университет. 2021. С. 281-286.

3. Ившин И.В., Галяутдинова А.Р., Владимиров О.В., и др. Методика онлайн оценки технического состояния трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ по коэффициенту экспресс-анализа // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 4. С. 14-26.

4. Ившин И.В., Галяутдинова А.Р., Владимиров О.В., Низамиев М.Ф. Оценка работоспособности трансформаторной подстанции по результатам экспресс-мониторинга ее элементов // Материалы VI Национальной научно-практической конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве»; 10-11 декабря 2020 г., Казань. Казанский государственный энергетический университет. 2020. С. 33-35.

5. Голубцов Н.В., Федоров О.В. Энергоэффективность экономики в аспекте инновационного инженерного образования // Материалы Девятой всероссийской научно-практической конференции «Наука, образование, инновации: пути развития»; 22-24 мая 2018 г., Петропавловск-Камчатский. Камчатский государственный технический университет. 2018. С. 135-139.

6. Грачева Е.И., Тошходжаева М.И. Моделирование работоспособности электрооборудования систем электроснабжения и электрических сетей. Казань: Казанский государственный энергетический университет. 2021. 220 с.

7. Вагин Г.Я. Состояние и перспективы развития электроэнергетики в России // Интеллектуальная Электротехника. 2021. № 2. С. 4-14.

8. Tyagunov M.G. Determining the optimal placements of renewable power generation systems using regional geographic information system // Proceeding of the 2nd International Conference on the Applications of Information Technology to Renewable Energy Processes and Systems - IT-DREPS 2017. 2018. pp. 1-6.

9. Кротенко Д.С., Семчев В.А., Белов О.А., и др. Анализ перспективного развития энергообеспечения Камчатского края // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2020. №51. С. 6-11.

10. Никитин А.Т., Белов О.А. Перспективы развития малой энергетики как экологичной технологии // Материалы научно-практической конференции: «Образование, наука и молодежь – 2017»; 26 октября 2017 г., Керчь. Керченский государственный морской технологический университет. 2017. С. 268-272.

11. Semenov A., Volotkovskaya N., Bebiikhov Y., Yakushev I., Fedorov O., Gracheva E. Analysis of the efficiency of development scenarios for the energy complex of the north-east of russia Conference proceedings. «Sustainable Energy Systems: innovative perspectives». 29-30 October 2020; Saint-Petersburg. Springer, Cham. 2021. pp. 231-240.

12. Безруких П.П. Нетрадиционно возобновляемые источники энергии. М.: Топливо-энергетический комплекс, 2002. 120 с.

13. Зайченко В.М., Соловьев Д.А., Чернявский А.А. Перспективные направления развития энергетики России в условиях перехода к новым энергетическим технологиям // Окружающая среда и энерговедение. 2020. № 1. С. 33-47.

14. Антонов Н.В., Евдокимов М.Ю., Шилин В.А. Возобновляемая энергетика за рубежом и в регионах России // Географическая среда и живые системы. 2020. №1. С. 85-99.

15. Семчев В.А. О перспективах и проблемах развития гидроэнергетики в Камчатском крае // Горный вестник Камчатки. 2017. № 2(38). С. 36-43.

16. Bezrukikh P.P. On Some Issues Assessing the Efficiency of Renewable Energy Power Plant and the Share of Renewables in the World's Electricity Generation // Journal of Electrical Engineering. 2018. № 6. pp. 85-89.

17. Тягунов М.Г. Особенности работы установок на основе возобновляемых источников энергии в изолированных энергосистемах // Альтернативная энергетика в регионах России: Материалы молодежной научной конференции «АЭР-2018»; 05-07 декабря 2018 г., Астрахань. 2018. С. 40-44.

18. Weinand, J.M., Scheller, F., McKenna, R.. Reviewing energy system modelling of decentralized energy autonomy. Energy. 2020; 203: 117817

19. Zaroni, H., Maciel, L.B., Carvalho, D.B., Pamplona, E.D.O. Monte Carlo Simulation approach for economic risk analysis of an emergency energy generation system. Energy. 2019; 172: 498-508.

20. Грачева Е.И., Алимова А.Н. Взаимосвязь характеристик силовых трансформаторов и их нагрузочной способности // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2019. № 1 (55). С. 48-55.

Авторы публикации

Белов Олег Александрович – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Энергетические установки и электрооборудование судов», Камчатский государственный технический университет (КамчатГТУ).

Федоров Олег Васильевич – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Управление инновационной деятельностью», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (НГТУ).

References

1. Belov OA. Sostoianie elektroenergetiki Kamchatskogo kraia i perspektivy ee razvitiia. *Vestnik Iuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika*. 2021;21(4):48-56.
2. Belov OA. *Analiz struktury generiruiushchei moshchnosti v izolirovannykh energouzlakh Kamchatskogo kraia*. Sbornik trudov II vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Energetika budushchego – tsifrovaia transformatsiia»; 15-17 dekabria 2021 g., Lipetsk. Lipetskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet. 2021. pp. 281-286.
3. Ivshin IV, Galiautdinova AR, Vladimirov OV, i dr. Metodika onlain otsenki tekhnicheskogo sostoiianiia transformatornoi podstantsii 35/6(10) kV po koeffitsientu ekspress-analiza. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. PROBLEMY ENERGETIKI*. 2021;23(4):14-26.
4. Ivshin IV, Galiautdinova AR, Vladimirov OV, Nizamiev MF. *Otsenka rabotosposobnosti transformatornoi podstantsii po rezultatsam ekspress-monitoringa ee elementov*. Materialy VI Natsionalnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Priborostroenie i avtomatizirovannyi elektroprivod v toplivno-energeticheskom komplekse i zhilishchno-kommunalnom khoziaistve»; 10-11 dekabria 2020 g., Kazan. Kazanskii gosudarstvennyi energeticheskii universitet. 2020. pp. 33-35.
5. Golubtsov NV, Fedorov OV. *Energoeffektivnost ekonomiki v aspekte innovatsionnogo inzhenernogo obrazovaniia*. Materialy Deviatoi vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Nauka, obrazovanie, innovatsii: puti razvitiia»; 22-24 maia 2018 g., Petropavlovsk-Kamchatskii. Kamchatskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet. 2018. pp. 135-139.
6. Gracheva EI, Toshkhodzhaeva MI. *Modelirovanie rabotosposobnosti elektrooborudovaniia sistem elektrosnabzheniia i elektricheskikh setei*. Kazan: Kazanskii gosudarstvennyi energeticheskii universitet. 2021. 220p.
7. Vagin GIa. Sostoianie i perspektivy razvitiia elektroenergetiki v Rossii. *Intellektualnaia Elektrotehnika*. 2021;2:4-14.
8. Tyagunov MG. *Determining the optimal placements of renewable power generation systems using regional geographic information system*. Proceeding of the 2nd International Conference on the Applications of Information Technology to Renewable Energy Processes and Systems - IT-DREPS 2017. 2018. pp. 1-6.
9. Krotenko DS, Semchev VA, Belov OA, i dr. Analiz perspektivnogo razvitiia energoobespecheniia Kamchatskogo kraia. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2020;51:6-11.
10. Nikitin AT, Belov OA. *Perspektivy razvitiia maloi energetiki kak ekologichnoi tekhnologii*. Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii: «Obrazovanie, nauka i molodezh – 2017»; 26 oktiabria 2017 g., Kerch. Kerchenskii gosudarstvennyi morskoi tekhnologicheskii universitet. 2017. pp. 268-272.
11. Semenov A., Volotkovskaya N., Bebikhov Y., Yakushev I., Fedorov O., Gracheva E. *Analysis of the efficiency of development scenarios for the energy complex of the north-east of Russia Conference proceedings*. «Sustainable Energy Systems: innovative perspectives». 29-30 October 2020; Saint-Petersburg. Springer, Cham. 2021. pp. 231-240.
12. Bezrukikh PP. *Netraditsionno vozobnovliaemye istochniki energii*. M.: Toplivno-energeticheskii kompleks, 2002. 120 s.
13. Zaichenko VM, Solovov DA, Cherniavskii AA. *Perspektivnye napravleniia razvitiia energetiki Rossii v usloviakh perekhoda k novym energeticheskim tekhnologiam. Okruzhaiushchaia sreda i energovedenie*. 2020;1:33-47.
14. Antonov NV, Evdokimov MIu, Shilin VA *Vozobnovliaemaia energetika za rubezhom i v regionakh Rossii. Geograficheskaiia sreda i zhivye sistemy*. 2020. №1. S. 85-99.

15. Semchev V.A. O perspektivakh i problemakh razvitiia gidroenergetiki v Kamchatskom krae. *Gornyi vestnik Kamchatki*. 2017;2(38):36-43.
16. Bezrukikh P.P. On Some Issues Assessing the Efficiency of Renewable Energy Power Plant and the Share of Renewables in the World's Electricity Generation. *Journal of Electrical Engineering*. 2018;6:85-89.
17. Tiagunov M.G. *Osobennosti raboty ustanovok na osnove vozobnovliaemykh istochnikov energii v izolirovannykh energosistemakh*. Alternativnaia energetika v regionakh Rossii: Materialy molodezhnoi nauchnoi konferentsii «AER-2018»; 05-07 dekabria 2018 g., Astrakhan. 2018. p. 40-44.
18. Weinand, J.M., Scheller, F., McKenna, R.. Reviewing energy system modelling of decentralized energy autonomy. *Energy*. 2020; 203:117817
19. Zaroni, H., Maciel, L.B., Carvalho, D.B., Pamplona, E.D.O. Monte Carlo Simulation approach for economic risk analysis of an emergency energy generation system. *Energy*. 2019; 172:498-508.
20. Gracheva E.I., Alimova A.N. Vzaimosviaz kharakteristik silovykh transformatorov i ikh nagruzochnoi sposobnosti. *Vesti vysshikh uchebnykh zavedenii Chernozemia*. 2019;1(55):48-55.

Authors of the publication

Oleg A. Belov – Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Oleg V. Fedorov – Nizhny Novgorod State Technical University by R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia.

Получено **02.09.2022г.**

Отредактировано **13.09.2022г.**

Принято **13.09.2022г.**