

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ГЕНЕРИРУЮЩЕЙ МОЩНОСТИ И ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ СОБОЛЕВСКОГО ИЗОЛИРОВАННОГО ЭНЕРГОУЗЛА КАМЧАТСКОГО КРАЯ

О.А. Белов

ORCID: 0000-0002-7382-9034 e-mail: boa-1@mail.ru

Камчатский государственный технический университет

Петропавловск-Камчатский, Россия

В статье рассмотрены структура установленной электрической мощности и состав генерирующего оборудования электростанций, проведен анализ и определены основные показатели динамики потребления электроэнергии и мощности в Соболевском изолированном энергоузле (Камчатский край). Выполнен анализ существующего баланса мощности и электрической энергии, определены основные технико-экономические параметры электроснабжения. Рассмотрены варианты развития системы электроснабжения Соболевского энергоузла, в том числе, на основе возобновляемых источников энергии. Также рассмотрены вопросы развития сетевой инфраструктуры и генерирующих мощностей, обеспечения долгосрочного и среднесрочного спроса на электрическую энергию и мощность. На основе анализа энергетической структуры Соболевского энергоузла и динамики электропотребления рассчитаны действующий и перспективный балансы электроэнергии и мощности в данном энергоузле. При решении задач исследования применялись методы математической обработки статистических данных и методы нормативного прогнозирования. Представленная комплексная оценка состояния электроэнергетики в изолированном Соболевском энергоузле позволяет спрогнозировать перспективы ее развития в рамках общего развития электроэнергетического комплекса Камчатского края.

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

Для цитирования: Белов О.А. Анализ структуры генерирующей мощности и динамики электропотребления Соболевского изолированного энергоузла Камчатского края // Интеллектуальная Электротехника. 2023. № 1. С. 118-138.

DOI: 10.46960/2658-6754_2023_1_118

STRUCTURE ANALYSIS OF GENERATING POWER AND ELECTRICAL CONSUMPTION DYNAMICS OF SOBOLEVSKY ISOLATED POWER HUB OF KAMCHATKA TERRITORY

O.A. Belov

ORCID: 0000-0002-7382-9034 e-mail: boa-1@mail.ru

Kamchatka State Technical University
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Abstract. Improving the reliability and efficiency of power supply to remote energy-isolated territories is an urgent task, since any failure in an isolated system leads to dangerous crisis events and significant economic losses. The Sobolevsky district of the Kamchatka Territory belongs to such energetically decentralized territories. In this regard, it becomes necessary to analyze the composition and characteristics of the power grid of the Sobolevsky isolated power generation unit. When solving research problems, methods of mathematical processing of statistical data and methods of normative forecasting were used. The article considers the structure of installed electric capacity and the composition of generating equipment of power plants, analyzes and defines the basic indicators of the dynamics of electricity consumption and capacity in the Sobolevsky isolated power generation center. An analysis of the existing balance of power and electric energy was carried out, the main technical and economic parameters of the power supply of the Sobolevsky isolated power generation unit are determined. Options for the development of the power supply system of the Sobolevsky power generation unit, including those based on renewable energy sources, are considered. The issues related to the development of network infrastructure and generating capacities, ensuring long-term and medium-term demand for electric energy and capacity are also considered. Based on the analysis of the energy structure of the Sobolevsky power plant and the dynamics of power consumption, the current and prospective balances of electricity and power in this power plant are calculated. The presented comprehensive assessment of the state of electric power generation in the isolated Sobolevsky power generation center makes it possible to predict the performance of its development within the framework of the general development of the electric power complex of the Kamchatka Territory.

Keywords: generating capacities, hydropower, power supply system, electric balance, electric power, energy tariff, power unit.

For citation: O.A. Belov, “Structure analysis of generating power and electrical consumption dynamics of Sobolevsky isolated power hub of Kamchatka territory”, *Smart Electrical Engineering*, no. 1, pp. 118-138, 2023. DOI: 10.46960/2658-6754_2023_1_118

I. 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 нерациональным и экономически необоснованным из-за удаленности таких объектов и низкого уровня развития их энергетической инфраструктуры. Одним из таких энергопроблемных регионов является Камчатский край на восточной границе России, территориально входящий в состав Дальневосточного федерального округа (ДФО). Население региона составляет 313 тыс. чел. Около 78 % населения Камчатского края проживает в городах, 22 % – 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 по АО «Корякэнерго» составил 42,39 руб./кВтч, а по АО «ЮЭСК» достиг 52,97 руб./кВтч.

Соболевский изолированный энергоузел представляет особый интерес, так как на его территории идет добыча природного газа, что позволяет существенно оптимизировать производство электроэнергии на данной территории. В связи с этим, требуется проведение комплексного анализа системы генерации и динамики электропотребления в данном энергоузле.

Соболевский изолированный энергоузел расположен в западной части полуострова Камчатка и обеспечивает электроснабжение потребителей Соболевского муниципального района. Территориальные границы Соболевского изолированного энергоузла представлены на рис. 1. Административный центр Соболевского муниципального района – с. Соболево с населением 1698 чел. Перечень и краткая характеристика населенных пунктов Соболевского муниципального района Камчатского края, входящих в состав Соболевского изолированного энергоузла, представлен в табл. 1.

Актуальность задачи оптимизации системы генерации в зонах децентрализованного электроснабжения подтверждается большим количеством исследований по данной теме. В работах Антонова Н.В. [3], Безруких П.П. [4, 5], Тягунова М.Г. [6, 7] рассмотрены возможность и перспективы использования нетрадиционных возобновляемых источников электроэнергии.

Необходимость развития региональной гидроэнергетики обоснована в публикациях Семчева В.А. [8, 9]. Вопросам повышения надежности и эффективности отдельных элементов системы электроснабжения посвящены научные исследования Лукутина Б.В. [10], Воскобоева В.Ф. [11] и др. В публикациях большинства авторов подчеркивается, 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.



**Рис. 1. Схема территориального расположения
Соболевского изолированного энергоузла**

Fig. 1. The scheme of the territorial location of Sobolevsky isolated power hub

В связи с этим, исследование структуры генерации Соболевского изолированного энергоузла в совокупности с анализом существующего электропотребления, а также разработка прогноза электропотребления на перспективу, имеют высокую научную и практическую значимость.

Таблица 1.
Общий состав Соболевского изолированного энергоузла

Table 1.
The general composition of the Sobolevsky isolated power hub

Поселение	Населенный пункт	Энергоисточник	Население, чел.	Расстояние до централизованных сетей, км
Соболевское сельское поселение	с. Соболево	ГДЭС-7, Локальные системы электроснабжения	1698	215
Крутогоровское сельское поселение	п. Крутогоровский	ГДЭС-21, котельная	358	299
Межселенная территория	п. Ичинский	ДЭС-22	27	343

II. Материалы и методы

Анализ функционирования системы электроснабжения Соболевского 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.

В зону влияния Соболевского энергоузла входят села Соболево и Устьевое, поселки Крутогоровский и Ичинский. Питание энергоузла осуществляется децентрализованно от газодизельных электростанций (ГДЭС) и дизельной электростанции (ДЭС). ГДЭС-7 обеспечивает электроснабжение сел Соболево и Устьевое по ВЛ 35 кВ Соболево – Устьевое.

Электрические сети 35 кВ развиты в 9 из 13 изолированных энергоузлах Камчатского края, в том числе, в Соболевском энергоузле. Основные характеристики электросетевого хозяйства 35 кВ Соболевского изолированного энергоузла представлены в табл. 2.

Анализ технического состояния электросетевых объектов напряжением 35 кВ показал, что воздушные линии и трансформаторы 35 кВ со сверхнормативным сроком эксплуатации отсутствуют [10, 11]. По данным АО «ЮЭСК», необходима реконструкция ВЛ 35 кВ с заменой провода на самонесущий изолированный провод в связи с большими ветровыми нагрузками и прохождением ВЛ вблизи Охотского моря.

Таблица 2.
Характеристика воздушных линий и подстанций 35 кВ

Table 2.
Characteristics of overhead lines and substations 35 kV

Наименование объекта	Год ввода	Длина ВЛ 35 кВ, км	Мощность ПС 35 кВ, шт. х МВА
ВЛ 35 кВ Соболево-Устьевое	1999	17,3	–
ПС 35 кВ Соболево	1999	–	1х1 1х1,6
ПС 35 кВ Устьевое	1999	–	2х1
Всего		17,3	4х4,6

Поселки Крутогоровский и Ичинский расположены севернее с. Соболево на побережье Охотского моря. Расстояние от с. Соболево до п. Крутогоровский составляет более 100 км, а до п. Ичинский – более 200 км. Электроснабжение потребителей в поселках Крутогоровский и Ичинский осуществляется децентрализованно от электростанций ГДЭС-21 и ДЭС-22 соответственно. Данные за 2021 г. по установленной мощности и годовой выработки электростанций Соболевского изолированного энергоузла по типам генерирующего оборудования представлены в табл. 3.

Таблица 3.
Установленные мощности (на 01.01.2022 г.) и годовые выработки (за 2021 г.) электростанций Соболевского изолированного энергоузла

Table 3.
Installed capacities (as of 01.01.2022) and annual outputs (for 2021) of power plants of the Sobolevsky isolated power hub

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. Соболево	ГДЭС-7	4,67	4,4	12,839	5,8
п. Крутогоровский	ГДЭС-21	2,34	2,2	7,817	3,5
п. Ичинский	ДЭС-22	0,24	0,2	1,571	0,8
Суммарно по узлу		7,25	6,8	22,227	10,1

Основу генерации в Соболевском энергоузле составляет ГДЭС-7, на долю которой приходится более 60 % установленной мощности и годовой выработки электроэнергии. Вторая по величине генерация в Соболевском изолированном энергоузле ГДЭС-21 составляет 2,34 МВт установленной мощности и производит около 30 % электроэнергии. На долю ДЭС-22 приходится менее 10 % годовой выработки при установленной мощности 0,24 МВт. Таким образом, Соболевский изолированный энергоузел включает в себя три децентрализованные системы электроснабжения со значительным перепадом по установленной мощности и годовой выработке электроэнергии. При этом следует отметить, что основная генерирующая мощность в энергоузле формируется на основе ГДЭС, соответственно и параметры экономически обоснованного тарифа на электроэнергию в Соболевском энергоузле определяются себестоимостью производства электрической энергии на данных электростанциях.

Основное электрооборудование электростанций в Соболевском изолированном энергоузле существенно различается как по типовому составу, так и по фактическому сроку службы. Состав основного генерирующего оборудования электростанций Соболевского изолированного энергоузла приведен в табл. 4.

Анализ технического состояния генерирующего оборудования показывает, что из 7,25 МВт установленной мощности более 30 % составляет оборудование с фактическим сроком службы до 10 лет. Электрооборудование с фактическим сроком службы более 30 лет составляет около 9 %. Таким образом, в Соболевском энергоузле обеспечивается как необходимый уровень надежности электроснабжения, так и нормативные показатели расхода топлива относительно установленных общепромышленных показателей [12, 13].

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

Анализ динамики потребления электроэнергии и мощности проводился на основе статистических данных, приведенных в открытых источниках. Суммарные показатели электропотребления и средние показатели максимального потребления мощности в Соболевском энергоузле за пятилетний период представлены в табл. 5. За рассматриваемый пятилетний период (2017-2021 гг.) в Соболевском энергоузле наблюдается определенный рост электропотребления, величина которого на 01.01.2022 составила 20,68 млн кВт·ч, что на 22,5 % выше аналогичного показателя 2017 г.

Динамика роста в течение пятилетнего периода была неравномерной. В 2018 г. электропотребление Соболевского энергоузла увеличилось на 3,93

млн кВт·ч (+19,67 %), а в 2019 г. наблюдалось снижение величины электропотребления на 1,47 млн кВт·ч (–7,36 %) относительно 2018 г., в 2020 г. электропотребление увеличилось до величины 20,42 млн кВт·ч. В 2021 г. электропотребление Соболевского энергоузла вновь возросло, рост составил 0,26 млн кВт·ч (+1,26 %) относительно 2020 г.

Таблица 4.
Состав генерирующего оборудования электростанций
Соболевского изолированного энергоузла

Table 4.
The composition of the generating equipment of power plants
of the Sobolevsky isolated power hub

Электростанция	Место расположения	Номер агрегатора	Тип оборудования	Год ввода	Вид топлива	Установленная мощность на 01.01.2022 г., МВт	Фактический срок службы, лет
ГДЭС-7	с. Соболево, Соболевский район, Камчатский край	M1	Caterpillar 3516	2009	природный газ	4,67	13
		M2	Caterpillar 3516	2009	природный газ		13
		3	Caterpillar 3512	2013	д/т		9
		6	4-26ДГ	1988	д/т		34
ГДЭС-21	п. Крутогоровский, Соболевский район, Камчатский край	1	DA-MW750NG	2021	природный газ	2,34	4
		2	DA-MW750NG	2021	природный газ		8
		3	RK550GF	2011	д/т		11
		4	RK700GF	2012	д/т		32
ДЭС-22	п. Ичинский, Соболевский район, Камчатский край	1	S110HC	2018	д/т	0,24	4
		2	DA-C100	2020	д/т		2
		3	S110HC	2018	д/т		4

В 2021 г. максимальное потребление мощности Соболевского энергоузла было зафиксировано на уровне 2,70 МВт, что на 0,47 МВт превышает

аналогичный показатель максимального потребления мощности в 2017 г. Динамика потребления электрической энергии и мощности в Соболевском энергоузле за пятилетний период наглядно представлена на диаграмме (рис. 2).

Таблица 5.
Показатели электропотребления
в Соболевском изолированном энергоузле за пятилетний период

Table 5.
Power consumption indicators
in Sobolevsky isolated power hub for five-year period

Наименование	2017	2018	2019	2020	2021
Электропотребление, млн кВт·ч	16,05	19,98	18,51	20,42	20,68
Абсолютный прирост электропотребления, млн кВт·ч	-1,82	3,93	-1,47	1,91	0,26
Годовой прирост электропотребления, %	-10,17	24,46	-7,35	10,33	1,27
Максимальное потребление мощности, МВт	2,23	2,61	2,75	2,74	2,70
Абсолютный прирост максимального потребления мощности, МВт	-0,01	0,38	0,14	-0,01	-0,04
Годовой прирост максимального потребления мощности, %	-0,41	17,23	5,21	-0,34	-1,46

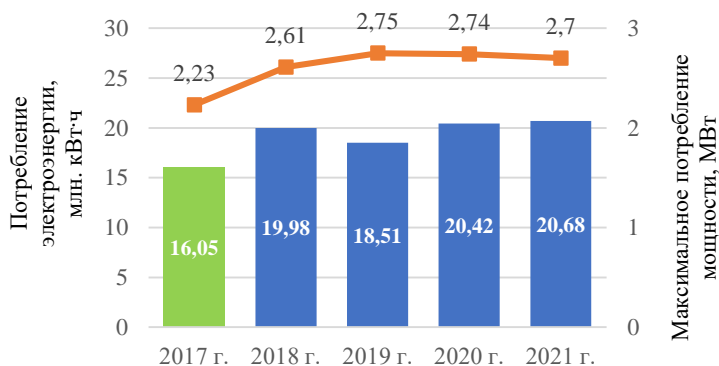


Рис. 2. Динамика потребления электрической энергии и мощности Соболевского изолированного энергоузла

Fig. 2. Dynamics of electricity and power consumption of Sobolevsky isolated power hub

Основной причиной роста динамики электропотребления в Соболевском изолированном энергоузле является снижение экономически обоснованного тарифа на электроснабжение в связи с переводом системы генерации на природный газ. Электроснабжение в энергоузле осуществляется в основном за счет ГДЭС, использующих для работы в основном природный газ и частично дизельное топливо. При этом высокая стоимость обслуживания электроэнергетических объектов обусловлена такими факторами, как сложные климатические условия (циклоны, ветровые нагрузки, гололедообразование), географическая удаленность населенных пунктов, отсутствие развитой транспортной инфраструктуры [6, 14].

Анализ баланса мощности и электрической энергии показал, что генерирующие источники Соболевского изолированного энергоузла полностью обеспечивали потребность в мощности и электроэнергии в 2021 г. Фактический баланс мощности и электрической энергии Соболевского изолированного энергоузла за 2021 г. представлен ниже в табл. 6.

Таблица 6.
Фактический баланс мощности и электрической энергии за 2021 г.

Table 6.
Actual balance of power and electric energy for 2021

Населенный пункт	Наименование ген. источника	Максимум потребления мощности, МВт	Установленная мощность, МВт	Дефицит (-) / Избыток (+), МВт	Годовая выработка, млн кВт·ч	ЧЧИ собственного максимального максимума нагрузки
с. Соболево	ГДЭС-7	2,25	4,67	2,42	12,84	1920
п. Крутогоровский	ГДЭС-21	0,42	2,34	1,92	7,82	1510
п. Ичинский	ДЭС-22	0,04	0,24	0,20	1,57	1480
Суммарно по Соболевскому энергоузлу		2,71	7,25	4,54	22,23	4910

В исследуемый период баланс мощности Соболевского изолированного энергоузла складывался избыточно по установленной мощности. При этом величина фактического резерва установленной мощности источников генерации по электростанциям находилась в диапазоне от 52 до 83,3 %. В целом по Соболевскому изолированному энергоузлу величина фактического резерва установленной мощности источников генерации составила более 62 %. Частично резерв установленной мощности использовался для

сезонного электроснабжения рыбоперерабатывающих предприятий, функционирующих на территории Соболевского района.

III. Результаты и обсуждение

На основании проведенного анализа динамики потребления электроэнергии и мощности за прошедший пятилетний период в Соболевском изолированном энергоузле разработан прогноз потребления электроэнергии и мощности. Прогноз потребления электрической энергии и мощности в Соболевском 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 Соболевском энергоузле на перспективу 2022-2026 гг. представлен в табл. 7.

Таблица 7.

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

Table 7.

Forecast of power consumption and maximum power consumption of Sobolevsky power hub for the future 2022-2026

Наименование	2021 (отчет)	2022	2023	2024	2025	2026
Электропотребление, млн кВт·ч	20,42	20,51	21,77	21,77	21,77	21,77
Абсолютный прирост электропотребления, млн кВт·ч	0,00	0,09	1,26	0,00	0,00	0,00
Годовой прирост электропотребления, %	0,00	0,44	6,14	0,00	0,00	0,00
Максимальное потребление мощности, МВт	2,71	2,82	2,95	3,07	3,21	3,36
Абсолютный прирост максимального потребления мощности, МВт	-0,03	0,11	0,13	0,12	0,14	0,15
Годовой прирост максимального потребления мощности, %	-1,09	4,06	4,61	4,07	4,56	4,67

В рассматриваемой перспективе значительного роста нагрузки в Соболевском изолированном энергоузле не ожидается. Прогнозируемая динамика основывается, в основном, на развитии в данном районе рыбопромышленных объектов и объектов хозяйственной деятельности. Возможно также

увеличение электропотребления в случае более интенсивного развития туристического сектора. Прогнозируемая динамика потребления электрической энергии и мощности в Соболевском изолированном энергоузле на пятилетнюю перспективу представлена в виде диаграммы на рис. 3.

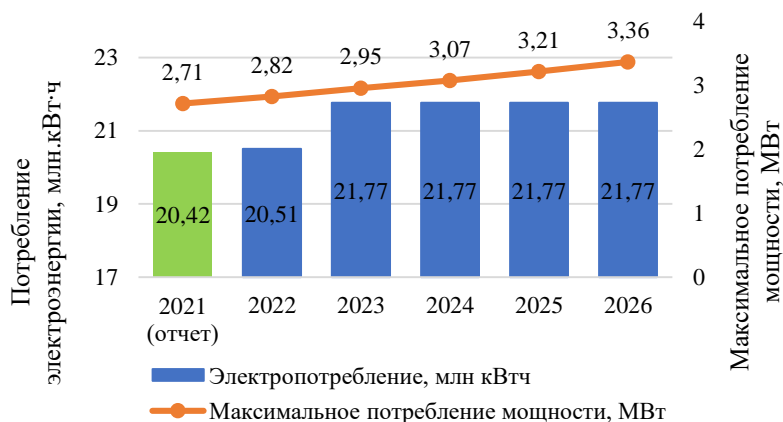


Рис. 3. Прогнозируемая динамика годового электропотребления и максимального потребления мощности на перспективу 2022-2026 гг.

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

Величина годового электропотребления в 2026 г. прогнозируется на уровне 21,77 млн кВт·ч, что на 1,35 млн кВт·ч (+6,20 %) выше электропотребления 2021 г. Величина максимального потребления мощности в 2026 г. в соответствии с прогнозом составит 3,36 МВт, что на 0,65 МВт (+19,35 %) 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 Соболевского изолированного энергоузла на пятилетний период представлены ниже в табл. 8, 9.

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

Таблица 8.
Прогнозируемый баланс мощности на период 2022-2026 гг.

Table 8.
Projected power balance for the period 2022-2026

Населенный пункт	Наименование ген. источника	Наименование показателя	Единица измерения	2021 (отчет)	2022	2023	2024	2025	2026
с. Соболево и с. Устьевое		P_{\max}	МВт	2,25	2,36	2,48	2,60	2,73	2,87
	ГДЭС-7 (с. Соболево)	$P_{\text{уст}}$	МВт	4,67	4,67	5,46	5,46	5,46	5,46
	РДГ Устьевое (с. Устьевое)	$P_{\text{уст}}$	МВт	0,00	0,00	0,60	0,60	0,60	0,60
		Дефицит/избыток	МВт	2,35	3,85	3,28	3,10	3,10	3,10
			%	108	98	144	133	122	111
п. Крутогоровский	ГДЭС-21	P_{\max}	МВт	0,42	0,42	0,43	0,43	0,44	0,45
		$P_{\text{уст}}$	МВт	2,34	2,34	2,34	2,48	2,48	2,48
		Дефицит/избыток	МВт	1,92	1,92	1,91	2,05	2,04	2,03
			%	457	457	444	477	464	451
п. Ичинский	ДЭС-22	P_{\max}	МВт	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
		$P_{\text{уст}}$	МВт	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
		Дефицит/избыток	МВт	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
			%	500	500	500	500	500	500
Суммарный баланс мощности Соболевский энергоузел		P_{\max}	МВт	2,71	2,82	2,95	3,07	3,21	3,36
		$P_{\text{уст}}$	МВт	7,25	7,25	8,64	8,78	8,78	8,78
		Дефицит/избыток	МВт	4,54	4,43	5,69	5,71	5,57	5,42
			%	168	157	193	186	174	161

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

Таблица 9.
Прогнозируемый баланс электрической энергии на период 2022-2026 гг.

Table 9.
Projected balance of electric energy for the period 2022-2026

Населенный пункт	Наименование ген. источника	Наименование показателя	Единица измерения	2021 г. (отчет)	2022	2023	2024	2025	2026
с. Соболево и с. Устьевое	ГДЭС-7 (с. Соболево)	Выработка	млн. кВт·ч	12,84	15,76	15,76	15,76	15,76	15,76
		ЧЧИ	час	2 749	3 375	3 375	3 375	3 375	3 375
	РДГ Устьевое (с. Устьевое)	Выработка	млн. кВт·ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		ЧЧИ	час	0	0	0	0	0	0
п. Крутогооровский	ГДЭС-21	Выработка	млн. кВт·ч	7,19	7,19	7,19	7,19	7,19	7,19
		ЧЧИ	час	3 073	3 073	3 073	2 900	2 900	2 900
п. Ичинский	ДЭС-22	Выработка	млн. кВт·ч	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
		ЧЧИ	час	5 746	5 746	5 746	5 746	5 746	5 746
Суммарный баланс электроэнергии Соболевский энергоузел		Выработка	млн. кВт·ч	21,41	24,33	24,33	24,33	24,33	24,33

Основные варианты развития системы электроснабжения Соболевского энергоузла рассматривались с учетом проведенного анализа, целесообразности реконструкции имеющихся ДЭС и возможности использования возобновляемых источников электроэнергии на данной территории.

Особенностью функционирования Соболевского изолированного энергоузла является возможность использования местного природного газа. Это позволяет снизить зависимость от дорогостоящего привозного дизельного топлива и, соответственно, стабилизировать экономические обоснованный тариф на электроснабжение, несмотря на высокие эксплуатационные затраты, связанные с климатическими и географическими факторами. Кроме того, использование местных энергоресурсов и снижение зависимо-

сти от привозного топлива повышает надежность электроснабжения Соболевского изолированного энергоузла [8, 15]. Оценка экономической эффективности мероприятий по замене высокочатратных ДЭС на новые с доведением удельного расхода топлива на отпуск электроэнергии до оптимальных значений показала целесообразность замены ДЭС в п. Ичинский. Проведенные расчеты показали, что срок окупаемости капиталовложений на обновление ДЭС-22 составит около 6 лет.

Оценка параметров и основных показателей электроснабжения Соболевского изолированного энергоузла при использовании солнечных электростанций (СЭС) показала их низкую эффективность на данной территории. Показатель себестоимости производства электроэнергии на СЭС значительно выше существующего.

Расчеты укрупненной оценки экономической эффективности применения СЭС в Соболевском изолированном энергоузле на основе данных о себестоимости производства электроэнергии на СЭС и сравнение с существующей топливной составляющей себестоимости производства электроэнергии показали, что на территории рассматриваемого изолированного энергоузла строительство СЭС экономически нецелесообразно.

Результаты проведенного расчета параметров мощности, выработки и экономии стоимости электроэнергии на основе сравнения с существующей топливной составляющей себестоимости производства электроэнергии для населенных пунктов Соболевского изолированного энергоузла и полученные значения приведены в табл. 10 [4, 16].

С целью повышения эффективности электроснабжения Соболевского изолированного энергоузла также целесообразно рассмотреть возможность строительства ветряных электростанций (ВЭС) на его территории. По данным наблюдений среднегодовая скорость ветра в населенных пунктах Соболевского изолированного энергоузла на высоте 30 м составляет около 5,5 м/с [17].

В соответствии с опытом эксплуатации ВЭС в п. Усть-Камчатск Камчатского края значение коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) для ВЭС при расчетах принимается на уровне 15 %. Расчет экономической эффективности строительства ВЭС для населенных пунктов с наибольшим ветроэнергетическим потенциалом Соболевского изолированного энергоузла показал, что себестоимость производства электроэнергии на ВЭС составит около 11 руб./кВтч.

Расчет удельной экономии стоимости электроэнергии за счет ввода ВЭС на базе сравнения себестоимости электроэнергии ВЭС с существующей топливной составляющей себестоимости производства электроэнергии приведен в табл. 11.

Таблица 10.
Оценка экономической эффективности использования СЭС
в Соболевском изолированном энергоузле

Table 10.
Assessment of the economic efficiency of the use of solar power plants
in the Sobolevsky isolated power hub

Населенный пункт	Мощность СЭС, кВт	Выработка СЭС, млн кВт·ч	Капиталовложения, тыс. руб.	Себестоимость производства э/э на СЭС, руб/кВт·ч	Топливная Составляющая себестоимости э/э, руб/ кВт·ч	Удельная экономия стоимости э/э за счет ввода СЭС, руб/ кВт·ч
с. Соболево	6 092	5,813	615 895	15,0	5,2	-9,8
п. Крутого- ровский	3 518	3,456	355 631	14,6	9,2	-5,4
п. Ичинский	675	0,663	68 200	14,6	14,8	0,2

Таблица 11.
Оценка экономической эффективности использования ВЭС
в Соболевском изолированном энергоузле

Table 11.
Estimation of economic efficiency of WPP use
in the Sobolevsky isolated power hub

Населенный пункт	Мощность ВЭС, кВт	Капиталовложе- ния, тыс. руб	Себестоимость производства э/э на ВЭС, руб/ кВт·ч	Топливная составляющая себестоимости э/э, руб/ кВт·ч	Удельная эконо- мия стоимости э/э за счет ввода ВЭС, руб/ кВт·ч
с. Соболево	6 092	54 671	10,9	5,2	-5,7
п. Крутогоровский	3 518	10 934	10,9	9,2	-1,7
п. Ичинский	675	164 013	10,9	14,8	3,9

Из табл. 11 видно, что наиболее перспективным проектом может быть строительство ВЭС в п. Ичинский. 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. Реальный для использования экономический потенциал речных гидроресурсов Камчатки составляет около 5 млрд. кВт·ч в год [3, 9].

Оценка экономической эффективности строительства малых ГЭС для целей электроснабжения Соболевского изолированного энергоузла и расчет 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./кВт·ч. Таким образом, величина топливной составляющей себестоимости электроэнергии, производимой ГДЭС незначительно выше гидроэнергии, в то время как себестоимость электроэнергии ДЭС выше в несколько раз [5, 7].

На основе сравнения себестоимости электроэнергии малых ГЭС и действующей топливной составляющей себестоимости электроэнергии в рассматриваемых населенных пунктах можно сделать вывод, что применение малых ГЭС в Соболевском изолированном энергоузле на данном этапе нецелесообразно.

IV. 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 Соболевского изолированного энергоузла для повышения экономической эффективности рекомендуется в первую очередь решить проблему низкорентабельной ДЭС в п. Ичинский. Проведенные технико-экономические расчеты показали, что в данном случае является экономически целесообразным замены существующей ДЭС на новую. Для повышения надежности электроснабжения потребителей в п. Устевое требуется реконструкция ВЛ 35 кВ с заменой провода на самонесущий изолированный провод в связи с большими ветровыми

нагрузками и прохождением ВЛ вблизи Охотского моря. Кроме того, целесообразно в п. Устевое установить в качестве дополнительного источника электроэнергии резервный дизель-генератор (РДГ) мощностью 0,6 МВт.

Таким образом, для повышения эффективности электроснабжения в Соболевском изолированном энергоузле необходимо разработать и реализовать мероприятия по максимальному использованию местного природного газа, а также заменить устаревшее оборудование на существующих станциях. Принимая во внимание высокие капитальные затраты на реализацию инновационных проектов развития, можно сделать вывод о необходимости поддержки федерального бюджета и включении ряда предлагаемых мероприятий в профильные федеральные программы.

© Белов О.А., 2023

Поступила в редакцию 03.10.2022

Received 03.10.2022

Библиографический список

- [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. DOI: 10.14529/power210406
- [2] Белов О.А. Анализ структуры генерирующей мощности в изолированных энергоузлах Камчатского края // II Всерос. науч.-практ. конф. «Энергетика будущего – цифровая трансформация», Декабрь 15-16, 2021, Липецк, Россия: Липецкий государственный технический университет, 2021. С. 281-286.
- [3] 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. DOI: 10.18384/2712-7621-2020-1-85-99
- [4] Безруких П.П. Нетрадиционно возобновляемые источники энергии. М.: Топливо-энергетический комплекс, 2002. – 120 с.
- [5] Bezrukikh P.P. On some issues assessing the efficiency of renewable energy power plants and the share of renewables in the world's electricity generation // Journal of Electrical Engineering. 2018. № 6. P. 85-89. DOI: 10.17265/2328-2223/2018.02.004
- [6] Tyagunov M.G., Lin Z.Y. Determining the optimal placements of renewable power generation systems using regional geographic information system // 2nd International conference on the applications of information technology in developing renewable energy processes and systems, IT-DREPS 2017, Dec. 06-08, 2017, Amman, Jordan: IEEE, 2017. P. 1-6. DOI: 10.1109/IT-DREPS.2017.8277823
- [7] 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», Декабрь 05-07, 2018, Астрахань, Россия: ИП Сорокин Роман Васильевич, 2018. С. 40-44.

- [8] Кротенко Д.С., Семчев В.А., Белов О.А., Жуков С.А. Анализ перспективного развития энергообеспечения Камчатского края // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2020. № 51. С. 6-11.
DOI: 10.17217/2079-0333-2020-51-6-11
- [9] Семчев В.А. О перспективах и проблемах развития гидроэнергетики в Камчатском крае // Горный вестник Камчатки. 2017. № 2 (38). С. 36-43.
- [10] Лукутин Б.В., Киушкина В.Р. Характеристики энергетической безопасности децентрализованного района и автономного объекта электрификации // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 1 (156). С. 66-79. DOI: 10.21285/1814-3520-2021-1-66-79
- [11] Воскобоев В.Ф., Лебедев А.Ю., Рынин А.Ю., Слепушкин С.Б. Оценка устойчивости функционирования объектов электроэнергетики // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем. 2005. № 7. С. 169-176.
- [12] Голубцов Н.В., Федоров О.В. Энергоэффективность экономики в аспекте инновационного инженерного образования // IX Всерос. науч.-практ. конф. «Наука, образование, инновации: пути развития», Май 22-24, 2018, Петропавловск-Камчатский, Россия: Камчатский государственный технический университет, 2018. С. 135-139.
- [13] Musaev T., Khabibullin M., Kamaliev R., Fedorov O., Valeev I., Vladimirov O. Influence of smart metering systems on increasing the accuracy of calculation electrical power losses in electrical networks // 2020 Sustainable Energy Systems: Innovative perspectives (SES 2020), Oct. 29-30, 2020, Saint-Petersburg, Russia: EDP Sciences, 2020. P. 01026. DOI: 10.1051/e3sconf/202022001026
- [14] Мусаев Т.А., Федоров О.В., Шагеев С.Р., Прохорова М.В. Интеллектуальные системы учета как инструмент снижения потерь электрической энергии // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2021. № 2. С. 52-55.
- [15] Никитин А.Т., Белов О.А. Перспективы развития малой энергетики как экологичной технологии // Материалы науч.-практ. конф. «Образование, наука и молодежь – 2017», Октябрь 26, 2017, Керчь, Россия: Керченский государственный морской технологический университет, 2017. С. 268-272.
- [16] 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 // International conference «Sustainable energy systems: innovative perspectives», Oct. 29-30, 2020, Saint-Petersburg, Russia: Springer, Cham, 2021. P. 231-240. DOI: 10.1007/978-3-030-67654-4_26
- [17] 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 (5). С. 33-47.
- [18] Weinand J.M., Scheller F., McKenna R. Reviewing energy system modelling of decentralized energy autonomy // Energy. 2020. № 41.
DOI: 10.1016/j.energy.2020.117817
- [19] Zaroni H., Maciel L.B., Carvalho D.B., Pamplona E. Monte Carlo simulation approach for economic risk analysis of an emergency energy generation system // Energy. 2019. № 172. P. 498-508. DOI: 10.1016/j.energy.2019.01.145

References

- [1] O.A. Belov, “The state of the electric power industry of the Kamchatka region and its development prospects”, *Bulletin of the South Ural State University. Series: Energy*, vol. 21, no. 4, pp. 48-56, 2021. DOI: 10.14529/power210406
- [2] O.A. Belov, “Analiz struktury generiruyushchey moshchnosti v izolirovannykh energouzlakh Kamchatskogo kraya [Analysis of the structure of generating capacity in isolated energy centers of the Kamchatka Territory]”, in proc. *II All-Russian conf. «Energetika budushchego – cifrovaya transformatsiya [II All-Russia. scientific-practical. conf. "Energy of the Future - Digital Transformation"]*, Dec. 15-16, 2021, Lipetsk, Russia, pp. 281-286 (in Russian).
- [3] N.V. Antonov, M. Yu. Evdokimov and V.A. Shilin, “Renewable energy abroad and in Russian regions”, *Geographical environment and living systems*, no. 1, pp. 85-99, 2020. DOI: 10.18384/2712-7621-2020-1-85-99
- [4] P.P. Bezrukikh, *Netraditsionno vozobnovlyayemye istochniki energii [Unconventional renewable energy sources]*. Moscow: Toplivno-energiya complex, 2002 (in Russian).
- [5] P.P. Bezrukikh, “On some issues assessing the efficiency of renewable energy power plants and the share of renewables in the world’s electricity generation”, *Journal of Electrical Engineering*, no. 6, pp. 85-89, 2018. DOI: 10.17265/2328-2223/2018.02.004
- [6] M.G. Tyagunov and Z.Y. Lin, “Determining the optimal placements of renewable power generation systems using regional geographic information system”, in proc. *2nd International conference on the applications of information technology in developing renewable energy processes and systems, IT-DREPS 2017*, Dec. 06-08, 2017, Amman, Jordan, pp. 1-6. DOI: 10.1109/IT-DREPS.2017.8277823
- [7] M.G. Tyagunov, “Features of work of installations on the basis of renewables in the isolated power supply systems”, in proc. *Alternative energy in the regions of Russia: Proceedings of the youth scientific conference "AER-2018"*, Dec. 05-07, 2018, Astrakhan, Russia, pp. 40-44.
- [8] D.S. Krotenko, V.A. Semchev, O.A. Belov and S.A. Zhukov, “Analysis of future energy supply development in Kamchatka”, *Bulletin of the Kamchatka State Technical University*, no. 51, pp. 6-11 DOI: 10.17217/2079-0333-2020-51-6-11
- [9] V.A. Semchev, “O perspektivakh i problemakh razvitiya gidroenergetiki v Kamchatskom kraye [On the prospects and problems of hydropower development in the Kamchatka Territory]”, *Gornyj vestnik Kamchatki [Mining Bulletin of Kamchatka]*, vol. 2, no. 38, pp. 36-43, 2017 (in Russian).
- [10] B.V. Lukutin and V.R. Kiushkina, “The characteristics of energy security in decentralised zones and autonomous objects of electrification”, *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*, vol. 25, no. 1 (156), pp. 66-79, 2021. DOI: 10.21285/1814-3520-2021-1-66-79
- [11] V.F. Voskoboev, A.Yu. Lebedev, A.Yu. Rynin and S.B. Slepushkin, “Otsenka ustoychivosti funktsionirovaniya ob"yektov elektroenergetiki [Estimation of the stability of the functioning of electric power facilities]”, *Voprosy teorii bez-opasnosti i ustojchivosti sistem [Questions of the theory of safety and stability of systems]*, no. 7, pp. 169-176, 2005 (in Russian).

- [12] N.V. Golubtsov and O.V. Fedorov, "Energy efficiency of economics in the aspect of innovative engineering education", in proc. *IX Vseros. scientific-practical. conf. "Science, education, innovation: ways of development"*, May 22-24, 2018, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, pp. 135-139.
- [13] T. Musaev, M. Khabibullin, R. Kamaliev, O. Fedorov, I. Valeev and O. Vlsdimirov, "Influence of smart metering systems on increasing the accuracy of calculation electrical power losses in electrical networks", in proc. *2020 Sustainable Energy Systems: innovative perspectives (SES 2020)*, Oct. 29-30, 2020, Saint-Petersburg, Russia, pp. 01026. DOI: 10.1051/e3sconf/202022001026
- [14] T.A. Musaev, O.V. Fedorov, S.R. Shageev and M.V. Prokhorova, "Intellektual'nye sistemy ucheta kak instrument snizheniya poter' elektricheskoy energii [Intelligent metering systems as a tool to reduce electrical energy losses]", *Stroitel'stvo: novye tekhnologii - novoe oborudovanie [Construction: new technologies - new equipment]*, no.2, pp. 52-55, 2021 (in Russian).
- [15] A.T. Nikitin and O.A. Belov, "Development prospects small power engineering as environmental technology", in proc. *Materials of scientific-practical. conf. "Education, Science and Youth - 2017"*, Oct. 26, 2017, Kerch, Russia, pp. 268-272.
- [16] A. Semenov, N. Volotkovskaya, Y. Bebikhov, I. Yakushev, O. Fedorov and E. Gracheva, "Analysis of the efficiency of development scenarios for the energy complex of the north-east of Russia", in proc. *International conference "Sustainable energy systems: innovative perspectives"*, Oct. 29-30, 2020, Saint-Petersburg, Russia, pp. 231-240. DOI: 10.1007/978-3-030-67654-4_26
- [17] V.M. Zaichenko, D.A. Soloviev and A.A. Chernyavsky, "Prospective directions of Russian electric power industry development within the framework of transition to new energy technologies", *Environment and Energy Science*, vol. 1, no. 5, pp. 33-47, 2020.
- [18] J.M. Weinand, F. Sheller and R. Mckenna, "Reviewing energy system modelling of decentralized energy autonomy", *Energy*, no. 41, Apr. 2020. DOI: 10.1016/j.energy.2020.117817
- [19] H. Zaroni, L.B. Maciel, D.B. Carvalho and E. Pamplona, "Monte Carlo Simulation approach for economic risk analysis of an emergency energy generation system", *Energy*, no. 172, pp. 498-508, Apr. 2019. DOI: 10.1016/j.energy.2019.01.145

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Белов Олег Александрович, кандидат технических наук, доцент Камчатского государственного технического университета, Петропавловск-Камчатский, Российская Федерация.

Oleg A. Belov, Cand. Sci. (Eng.), associate professor of the Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation.