

**ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ГЕНЕРАЦИИ В КЛЮЧЕВСКОМ ИЗОЛИРОВАННОМ ЭНЕРГОУЗЛЕ
КАМЧАТСКОГО КРАЯ**

канд. техн. наук, доц. О. А. БЕЛОВ

**(Камчатский государственный технический университет,
г. Петропавловск-Камчатский, Россия)**

Ключевской изолированный энергоузел с точки зрения удаленности от центральных электрических сетей и особенностей своего географического положения представляет особый интерес для изучения структуры генерации, особенностей электропотребления и формирования балансов электроэнергетики и мощности. Обеспечение надежного и эффективного электроснабжения в таких изолированных системах, является актуальной задачей, связанной с возможностью возникновения опасных кризисных явлений в случае нарушения устойчивости системы. Представленная комплексная оценка динамики электропотребления в Ключевском изолированном энергоузле позволяет спрогнозировать перспективы ее развития в рамках электроэнергетического комплекса Камчатского края. На основе анализа энергетической структуры Ключевского изолированного энергоузла и динамики электропотребления, рассчитаны действующий и перспективный балансы электроэнергии и мощности, рассмотрены варианты развития системы электроснабжения в данном энергоузле.

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

Введение. Ключевской изолированный энергоузел расположен в восточной части полуострова Камчатка на территории Усть-Камчатского муниципального района и обеспечивает электроснабжение потребителей п. Ключи. Информация по Ключевскому энергоузлу приведена в таблице 1.

Таблица 1. – Общие сведения о Ключевском изолированном энергоузле

Муниципальное образование	Поселение	Населенный пункт	Энергоисточник	Население, чел.	Расстояние до централизованных сетей, км
Усть-Камчатский муниципальный район	Ключевское сельское поселение	п. Ключи	ДЭС-22, локальные системы электро- и теплоснабжения	4422	560

Повышение эффективности объектов генерации в зонах децентрализованного электроснабжения несомненно является актуальной задачей, требующей разработки и внедрения эффективных методов оптимизации систем электроснабжения в изолированных энергоузлах. В большинстве случаев необходима оценка возможности и перспектив использования нетрадиционных возобновляемых источников электроэнергии в децентрализованных системах. Кроме того, требуется дополнительная проработка вопросов повышения надежности и эффективности отдельных элементов системы электроснабжения изолированных энергоузлов. В научных работах [1–3] 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.

В этой связи, исследование структуры генерации Ключевского 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 Ключевского 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.

Ключевской энергоузел обеспечивает электроснабжение потребителей одного населенного пункта Усть-Камчатского муниципального образования Камчатского края. Он сформирован на базе потребителей поселка Ключи, поэтому развитое электросетевое хозяйство в данном энергоузле отсутствует [4, 5].

Данные за 2021 г. по установленной мощности и годовой выработке в Ключевском изолированном энергоузле представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Установленные мощности (на 01.01.2022 г.) и годовые выработки (за 2021 г.) электростанций Ключевского 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
п. Ключи	ДЭС-22	6,20	5,8%	17,418	7,9%

Основное электрооборудование электростанции ДЭС-22 в изолированном энергоузле имеет различия как по типовому составу, так и по фактическому сроку службы. Общие сведения приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Состав генерирующего оборудования электростанций Ключевского изолированного энергоузла

Наименование электростанции	Место расположения объекта	Номер агрегата	Тип оборудования	Год ввода	Вид топлива	Установленная мощность на 01.01.2022 г., МВт	Фактический срок службы, лет
ДЭС-22	п. Ключи, Усть-Камчатский район, Камчатский край	1	LB8250ZLD	2017	д/т	6,2	5
		2	LB8250ZLD	2015	д/т		7
		3	LB8250ZLD	2014	д/т		8
		4	ДГ-72	2001	д/т		21
		5	ДГ-72	1977	д/т		45
		6	ДГ-72	2012	д/т		10
		7	ДГ-72	2010	д/т		12

Анализ технического состояния генерирующего оборудования показывает, что из 6,2 МВт установленной мощности, 80% обеспечивается оборудованием с фактическим сроком службы менее 10 лет. В связи с этим, масштабной модернизация электростанции не требуется. Для повышения надежности и устойчивости системы электроснабжения необходимо спланировать замену одного ДГ-72 с фактическим сроком службы более 45 лет.

Оценка эксплуатационной эффективности электроснабжения показала, что процент потребления электроэнергии на собственные нужды электростанции и технологические потери электроэнергии в сетях Ключевского изолированного энергоузла находятся в допустимых пределах [6, 7].

В 2021 г. электропотребление Ключевского энергоузла составило 17,42 млн кВтч, что на 0,05 млн кВтч (+ 0,29%) превышает аналогичный показатель 2017 г.

В 2021 г. максимальное потребление мощности Ключевского энергоузла было зафиксировано на уровне 3,30 МВт, что на 0,20 МВт выше максимального потребления мощности в 2017 г.

Суммарные показатели электропотребления и средние показатели максимального потребления мощности Ключевского энергоузла за пятилетний период представлены в таблице 4.

Таблица 4. – Показатели электропотребления в Ключевском изолированном энергоузле

Наименование	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Электропотребление, млн кВтч	17,37	17,94	17,54	17,80	17,42
Абсолютный прирост электропотребления, млн кВтч	–0,33	0,57	–0,40	0,26	–0,38
Годовой прирост электропотребления, %	–1,86	3,28	–2,23	1,47	–2,13
Максимальное потребление мощности, МВт	3,10	3,15	3,10	3,60	3,30
Абсолютный прирост максимального потребления мощности, МВт	–0,10	0,05	–0,05	0,50	–0,30
Годовой прирост максимального потребления мощности, %	–3,13	1,61	–1,59	16,13	–8,33

Динамика потребления электрической энергии и мощности в Ключевском энергоузле за пятилетний период наглядно представлена на диаграмме (рисунок 1).

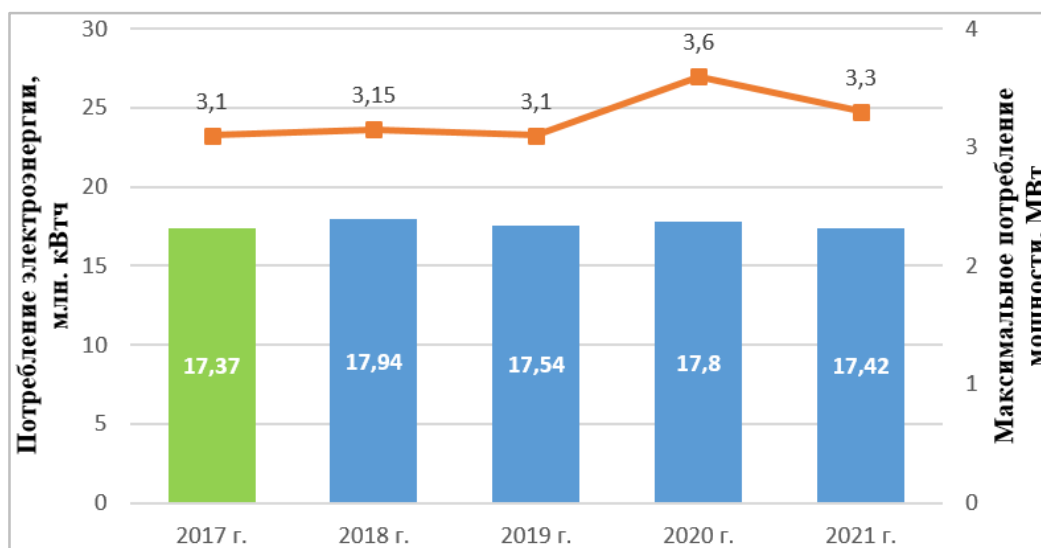


Рисунок 1. – Динамика потребления электрической энергии и мощности

Основной причиной низкой динамики электропотребления в Ключевском изолированном энергоузле является высокий экономически обоснованный тариф на электроснабжение. Электроснабжение в энергоузле осуществляется исключительно за счёт ДЭС, работающей на дорогостоящем привозном дизельном топливе. Высокая стоимость обслуживания электроэнергетических объектов обусловлена такими факторами, как сложные климатические условия (циклоны, ветровые нагрузки, гололёдообразование), географическая удаленность энергоузла, отсутствие развитой транспортной инфраструктуры [8, 9].

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

Фактический баланс мощности и электрической энергии Ключевского изолированного энергоузла за 2021 г. представлен ниже в таблице 5.

Таблица 5. – Данные по балансу электрической генерации 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
п. Ключи	ДЭС-22	3,10	6,20	3,10	17,42	950

За анализируемый период баланс мощности Ключевского изолированного энергоузла складывался избыточно по установленной мощности. Величина фактического резерва установленной мощности источников генерации составила почти 50%.

Результаты и обсуждение. На основании проведенного анализа динамики потребления электроэнергии и мощности за прошедший пятилетний период в Ключевском изолированном энергоузле разработан прогноз потребления электроэнергии и мощности.

Прогноз потребления электрической энергии и мощности в Ключевском 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. Данные прогноза представлены в таблице 6.

Таблица 6. – Прогноз электропотребления и максимального потребления мощности Ключевского энергоузла на перспективу 2022–2026 гг.

Наименование	2021 (отчёт)	2022	2023	2024	2025	2026
Электропотребление, млн кВтч	17,80	18,39	18,39	18,39	18,39	18,39
Абсолютный прирост электропотребления, млн кВтч	0,00	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00
Годовой прирост электропотребления, %	0,00	3,31	0,00	0,00	0,00	0,00
Максимальное потребление мощности, МВт	3,60	3,60	3,69	3,69	3,69	3,69
Абсолютный прирост максимального потребления мощности, МВт	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00
Годовой прирост максимального потребления мощности, %	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00

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

Прогнозируемая динамика потребления электрической энергии и мощности в Ключевском изолированном энергоузле на пятилетнюю перспективу представлена в виде диаграммы на рисунке 2.

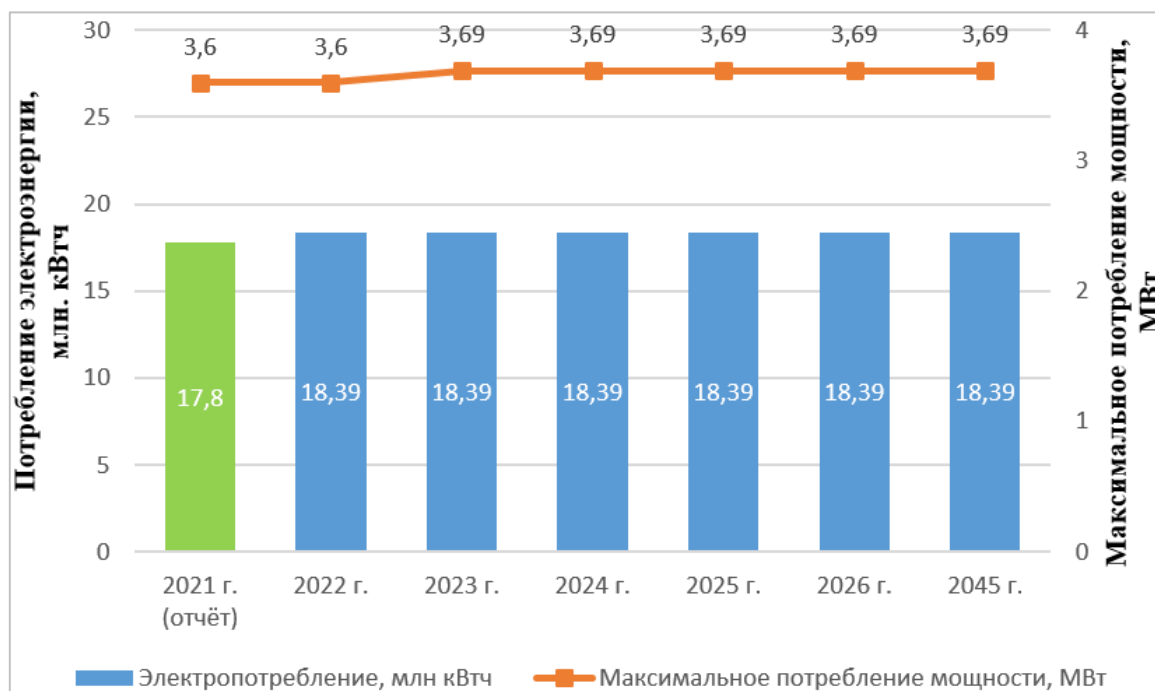


Рисунок 2. – Прогнозируемая динамика годового электропотребления и максимального потребления мощности на перспективу 2022–2026 гг.

Величина годового электропотребления к 2026 г. прогнозируется на уровне 18,39 млн кВтч, что на 0,59 млн кВтч (+ 3,21%) выше электропотребления 2021 г. Величина максимального потребления мощности к 2026 г. составит 3,69 МВт, что на 0,09 МВт (+ 2,50%) 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 Ключевскому изолированному энергоузлу на пятилетний период представлены ниже в таблицах 7 и 8.

Таблица 7. – Прогнозируемый баланс мощности на период 2022–2026 гг.

Наименование ген. источника	Наименование показателя	Единица измерения	2021 г. (отчет)	2022	2023	2024	2025	2026
ДЭС-22	Рмакс	МВт	3,60	3,60	3,69	3,69	3,69	3,69
	Руст	МВт	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20
	Дефицит/избыток	МВт	2,60	2,60	2,51	2,51	2,51	2,51
		%	100	90	81	73	65	57

Таблица 8. – Прогнозируемый баланс электрической энергии на период 2022–2026 гг.

Наименование ген.источника	Наименование показателя	Единица измерения	2021 г. (отчет)	2022	2023	2024	2025	2026
ДЭС-22	Выработка	млн. кВтч	17,42	18,39	18,39	18,39	18,39	18,39
	ЧЧИ	час	2809	2967	2967	2967	2967	2967

Анализ прогнозируемого баланса мощности в Ключевском изолированном энергоузле показал, что баланс мощности складывается с избытком установленной мощности на всем рассматриваемом перспективном периоде.

Баланс электроэнергии анализируемого энергоузла складывается удовлетворительно. Число часов использования (ЧЧИ) установленной мощности электростанции ДЭС-22 находится в допустимых пределах.

Варианты развития. Особенностью и основной проблемой функционирования Ключевского 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 [10, 11].

Одним из вариантов повышения эффективности электроснабжения отдельных изолированных энергоузлов, согласно [12] является возможность использования солнечных электростанций (СЭС).

Расчеты, по укрупненной оценке, экономической эффективности применения СЭС в Ключевском 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 не целесообразно, так как себестоимость производства электроэнергии в этом случае выше топливной составляющей.

С целью повышения эффективности электроснабжения Ключевского изолированного энергоузла также целесообразно рассмотреть возможность использования ветряных электростанций (ВЭС) на его территории. По данным наблюдений среднегодовая скорость ветра в районе поселка Ключи на высоте 30 метров составляет около 4,4 м/с [13].

В соответствии с опытом эксплуатации ВЭС в п. Усть-Камчатск, Камчатского края оценка экономической эффективности строительства ВЭС для поселка Ключи показала низкую рентабельность данного проекта.

С учетом мирового опыта и опыта организации электроснабжения потребителей Камчатского края наиболее перспективным вариантом развития изолированных энергоузлов является строительство малых ГЭС. Оценка экономической эффективности строительства малых ГЭС для целей электроснабжения Ключевского изолированного энергоузла и расчёт себестоимости производства электроэнергии на малых ГЭС показали, что в этом случае себестоимость производства электроэнергии составит менее 4 руб./кВтч.

На основе сравнения себестоимости электроэнергии малых ГЭС и действующей топливной составляющей себестоимости электроэнергии 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 [14].

В этом направлении рассматривается как потенциальный проект малой ГЭС на р. Белая, приток р. Камчатка, мощностью более 20 МВт, в доступной близости от поселка Ключи. Реализация данного проекта и введение в эксплуатацию малой ГЭС значительно повысит эффективность и надежность электроснабжения в Ключевском изолированном энергоузле.

Выводы. Результаты, представленные в данной работе, согласуются с результатами исследований российских и зарубежных ученых [15, 16] 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.

Ключевской изолированный энергоузел имеет высокие экономически обоснованные тарифы на электроснабжение, что в основном обусловлено тем, что электроснабжение потребителей осуществляется за счёт ДЭС, работающей на дорогостоящем привозном дизельном топливе. Снижение себестоимости производства электроэнергии в энергоузле возможно за счёт реализации проектов по освоению потенциала местной гидроэнергетики.

Таким образом для повышения эффективности электроснабжения в Ключевском изолированном энергоузле необходимо разработать и реализовать мероприятия по замещению дизельной генерации, а также замены устаревшего

оборудования на ДЭС-22. Кроме того, для повышения надежности электроснабжения необходимо развивать и совершенствовать электросетевое хозяйство энергоузла.

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 Ключевском энергоузле.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. 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. – P. 85-89.
2. 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.
3. 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. – P. 1–6.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Грачева Е. И., Тошходжаева М. И. Моделирование работоспособности электрооборудования систем электроснабжения и электрических сетей. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2021. – 220 с.
8. Вагин Г. Я. Состояние и перспективы развития электроэнергетики в России // Интеллектуальная Электротехника. – 2021. – № 2. – С. 4–14.
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. 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.
12. Безруких П. П. Нетрадиционно возобновляемые источники энергии. – М.: Топливо-энергетический комплекс, 2002. – 120 с.
13. 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.
14. Семчев В. А. О перспективах и проблемах развития гидроэнергетики в Камчатском крае // *Горный вестник Камчатки*. – 2017. – № 2(38). – С. 36–43.
15. Weinand, J. M., Scheller, F., McKenna, R. Reviewing energy system modelling of decentralized energy autonomy. *Energy*. – 2020; 203: 117817.
16. 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.