

Модель оценки эффективности вариантов электроснабжения автономных потребителей

Рецензия эксперта на статью получена
09.04.2025 [The expert review of the article
was received on April 9, 2025]

Указом Президента России №204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [1] в качестве одной из целей определено гарантированное обеспечение потребителей доступной электроэнергией, в том числе за счёт развития локальных энергосистем и распределённой генерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и собственных видов топлива, в первую очередь в удалённых и изолированных энергорайонах [2]. Достижению поставленной цели также уделено внимание в различных федеральных документах перспективного развития, в том числе в «Энергетической стратегии России...» [3].

В настоящее время основную часть децентрализованного электроснабжения составляют территории Севера и Востока России, которые характеризуются крайне неравномерным распределением топливно-энергетических ресурсов. На рис. 1 показаны зоны электроснабжения России от объединённых энергосистем, существующие локальные энергоузлы, а также объекты распределённой генерации [4].

Проблема снабжения электрической энергией удалённых потребителей, расположенных на труднодоступных территориях, затрагивает также и некоторые районы Сибири, одним из которых является центральная экономическая зона Байкальской природной территории, находящаяся на стыке Иркутской области и республики Бурятия. Данная территория имеет особый статус, закреплённый на международном уровне. Байкальский регион — это перспективная площадка для развития бизнеса и туризма. К 2036

году перед регионами поставлена задача: увеличить общий туристско-экскурсионный поток на Байкал до пяти миллионов человек в год и реализовать 300 туристических площадок [5].

В настоящий момент в Байкальском регионе имеется значительное количество перспективных для развития потребителей, не имеющих централизованного электроснабжения, что обусловлено их удалённостью от единой энергосистемы, сложным ландшафтом и экологическими требованиями по сохранению природного наследия [6].

Развитие рынка электроэнергетики, повышение стоимости электроэнергии для потребителей, появление механизмов поддержки отдельных технологий на основе ВИЭ и собственных энергоресурсов с каждым годом создаёт дополнительные стимулы для появления объектов собственной генерации. В связи с этим при планировании и реализации таких объектов возникает задача выбора наиболее рациональной структуры генерирующих мощностей.

Предлагается модель оценки вариантов электроснабжения изолированных потребителей на базе ВИЭ, местных видов топлива и накопителей энергии.

Этап 1. Формирование исходных данных об объекте перспективного развития. На данном этапе проводится формирование перечня существующих и перспективных потребителей электрической энергии и видов энергетических ресурсов, которые могут быть использованы для производства электрической энергии. Источниками информации о перспективных электрических нагрузках являются

УДК 620.92. Научная специальность: 2.4.5.

Модель оценки эффективности вариантов электроснабжения автономных потребителей

Ариана Викторовна Яковкина, студент, факультет энергетики и автоматизации; **Александр Сергеевич Нефедов**, старший преподаватель, кафедра энергетики, Братский государственный университет (БрГУ, г. Братск)

В статье проводится анализ проблемы электроснабжения удалённых и изолированных потребителей России. Показана актуальность создания локальных энергосистем на базе возобновляемых источников энергии и местных видов топлива, как один из вариантов решения проблемы. Предложена модель формирования и технико-экономической оценки альтернативных вариантов структур генерирующих мощностей при планировании электроснабжения изолированных потребителей. Модель основана на анализе покрытия сезонных графиков электрических нагрузок различными технологиями производства электрической энергии, включающая в себя: сбор исходных данных об объекте перспективного развития; формирование альтернативных вариантов планируемой энергосистемы; технико-экономическую оценку при помощи показателя нормированной стоимости электрической энергии. Проводится апробация предложенной модели на одном из перспективных для развития туристической инфраструктуры населённых пунктов Байкальской природной территории.

Ключевые слова: изолированные потребители, возобновляемые источники энергии, накопители энергии, структура генерирующих мощностей, альтернативные варианты.

UDC 620.92. Scientific specialty number: 2.4.5.

Model for assessing electric supply options for isolated consumers based on local fuels, renewable sources and energy storages

Ariana V. Yakovkina, student, the Faculty of Energy and Automation; **Alexander S. Nefedov**, senior lecturer, the Department of Power Engineering, Bratsk State University (BSU, Bratsk city)

The article analyzes the problem of electricity supply to remote and isolated consumers in Russia. The relevance of creating local energy systems based on renewable energy sources and local fuels is shown as one of the solutions to the problem. A model for the formation and technical and economic assessment of alternative options for generating capacity structures in the planning of electricity supply to isolated consumers is proposed. The model is based on the analysis of the coverage of seasonal schedules of electrical loads by various technologies for the production of electrical energy, which includes: the collection of initial data on the object of prospective development; the formation of alternative options for the planned energy system; a technical and economic assessment using the normalized cost of electrical energy. The proposed model is being tested in one of the most promising localities in the Baikal Natural Territory for the development of tourist infrastructure.

Key words: isolated consumers, renewable energy sources, energy storage, structure of generating capacities, alternative options.

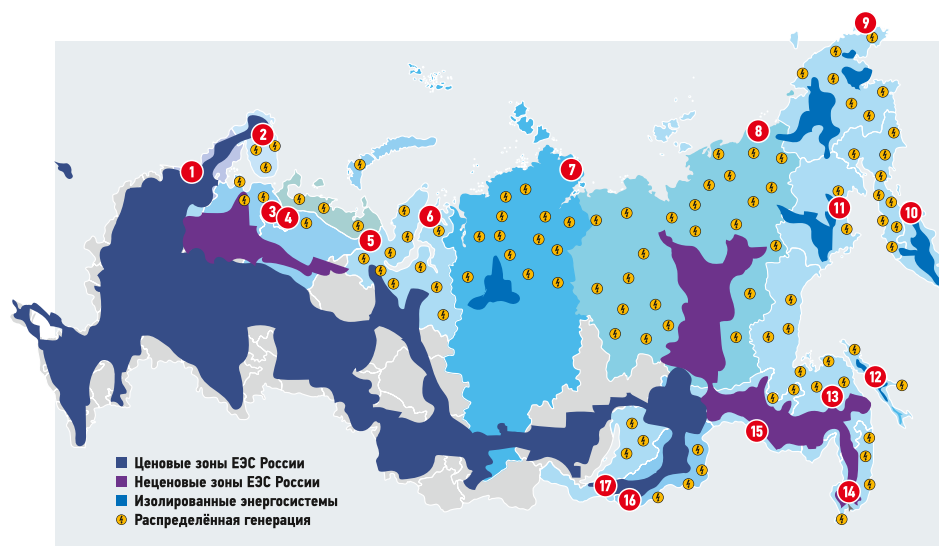


Рис. 1. Характеристика территории России по степени централизации энергоснабжения [4]

№	Регион	Кол-во и сумм. мощность		Эксплуатирующие организации	Износ энерго-генерирующего оборудования
		ДЭС	котельных		
1	Респ. Карелия	4, 2,2 МВт	—	АО «ПСК»	н.д.
2	Мурманская обл.	7, 0,8 МВт	—	МУП	50 %
3	Архангельская обл.	37, 40 МВт	26, 37 Гкал/ч	АО «Архоблэнерго»	н.д.
4	Ненецкий АО	34, 37 МВт	20, 36 Гкал/ч	МУП	55 %
5	Респ. Коми	11, 9 МВт	14, 33 Гкал/ч	АО «НКТ»	55 %
6	Ямало-Ненецкий АО	41, 83 МВт	26, 283 Гкал/ч	АО «ЯКЗ»	н.д.
7	Красноярский край	61, 88 МВт	25, 216 Гкал/ч	МУП, АО	н.д.
8	Респ. Саха (Якутия)	144, 214 МВт	84, 697 Гкал/ч	ПАО «РусГидро», ГУП	60 %
9	Чукотский АО	37, 68 МВт	33, 272 Гкал/ч	ГУП	60 %
10	Камчатский край	42, 126 МВт	36, 242 Гкал/ч	ПАО «РусГидро», МУП	н.д.
11	Магаданская обл.	10, 15 МВт	4, 15 Гкал/ч	МУП	н.д.
12	Сахалинская обл.	16, 61 МВт	18, 71 Гкал/ч	АО «Мобильные ГТЭС», МУП	н.д.
13	Хабаровский край	24, 20 МВт	13, 45 Гкал/ч	МУП	80 %
14	Приморский край	23, 25 МВт	—	ГУП	70 %
15	Амурская область	5, 1,5 МВт	1, 1 Гкал/ч	МУП	н.д.
16	Забайкальский край	18, 4,5 МВт	—	ООО «ЗСК»	100 %
17	Респ. Бурятия	8, 1 МВт	—	МУП	70 %

региональные энергетические программы, стратегические схемы территориального планирования, инвестиционные паспорта районов, проекты объектов аналогов [7–9]. При оценке потенциала энергоресурсов могут быть использованы

карты полезных ископаемых, климатические справочники с данными о многолетних измерениях скорости ветра, уровнях солнечной радиации, облачности, материалы водного кадастра, различные программные продукты [10, 11].

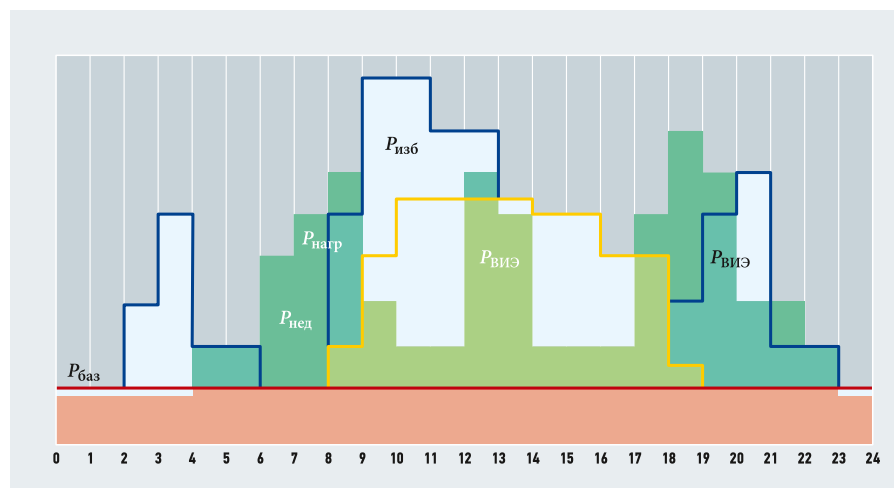


Рис. 2. Суточный почасовой график нагрузки и выработки энергии структурой генерирующих мощностей, состоящей из традиционных технологий, ВИЭ и накопителей электроэнергии

В результате анализа исходных данных формируется ситуационный план перспективного развития, а также сезонные суточные графики электропотребления объекта, альтернативные варианты технологий производства энергии.

Этап 2. Формирование альтернативных вариантов структуры генерирующих мощностей объекта перспективного развития. На данном этапе формируются альтернативные варианты с различным соотношением установленных мощностей выбранных технологий производства и накопления электрической энергии при покрытии сезонных графиков электрических нагрузок объекта перспективного развития (рис. 2) [9].

Определение режима работы технологий производства электрической энергии в составе структуры генерирующих мощностей на основе местных видов топлива, возобновляемых источников и накопителей энергии в момент времени t сводится к решению систем уравнений:

$$\begin{cases} P_{\text{манёвр}}(t) = P_{\text{нагр}}(t) - P_{\text{ген}}(t) - P_{\text{АКБ}}(t); \\ P_{\text{манёвр}} = \max_{t=1}^{8760} [P_{\text{манёвр}}(t)]; \\ P_{\text{ген}}(t) = P_{\text{ВИЭ}}(t) + P_{\text{баз}}(t); \\ P_{\text{изб}}(t) = P_{\text{ген}}(t) - P_{\text{нагр}}(t), \\ \quad \text{если } P_{\text{ген}}(t) > P_{\text{нагр}}(t); \\ P_{\text{нед}}(t) = P_{\text{нагр}}(t) - P_{\text{ген}}(t), \\ \quad \text{если } P_{\text{ген}}(t) < P_{\text{нагр}}(t), \end{cases} \quad (1)$$

где $P_{\text{манёвр}}(t)$, $P_{\text{нагр}}(t)$, $P_{\text{ген}}(t)$, $P_{\text{ВИЭ}}(t)$ и $P_{\text{баз}}(t)$ — соответственно, уровни мощности, манёвренного источника энергии, нагрузки объекта, маломанёвренной $P_{\text{ген}}(t)$ части структуры генерирующих мощностей, состоящей из технологий с низкой манёвренностью $P_{\text{баз}}(t)$ и технологии со стохастическим характером генерации ВИЭ $P_{\text{ВИЭ}}(t)$ в момент времени t , кВт; $P_{\text{манёвр}}(t)$ — установленная мощность манёвренного источника энергии, кВт; $P_{\text{АКБ}}(t)$ — мощность энергосистемы, развиваемая за счёт аккумуляторных батарей (АКБ) в момент времени t , кВт; $P_{\text{изб}}(t)$ и $P_{\text{нед}}(t)$ — соответственно, уровни избытка и недостатка мощности в момент времени t , кВт.

Работа накопителей энергии:

$$\begin{cases} C_{\text{АКБ}}(t) = C_{\text{АКБ}}(t-1) + P_{\text{изб}}(t) \\ \quad \text{[условие заряда];} \\ C_{\text{АКБ}}(t) = C_{\text{АКБ}}(t-1) - P_{\text{нед}}(t) \\ \quad \text{[условие разряда];} \\ \text{Если } C_{\text{АКБ}}(t-1) + P_{\text{изб}}(t) > C_{\text{АКБmax}}, \\ \quad \text{то } C_{\text{АКБ}}(t) = C_{\text{АКБmax}}; \\ \text{Если } C_{\text{АКБ}}(t-1) - P_{\text{нед}}(t) < 0, \\ \quad \text{то } C_{\text{АКБ}}(t) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где $C_{\text{АКБ}}(t)$, $C_{\text{АКБ}}(t-1)$ и $C_{\text{АКБmax}}$ — ёмкости аккумуляторных батарей, соответственно, в момент времени t , $t-1$ и максимальная, кВт·ч.

Этап 3. Техничко-экономическая оценка сформированных вариантов энергетической системы. В качестве оценочного критерия в модели предлагается использовать нормированную стоимость электроэнергии (Levelized Cost of Energy, LCOE) при её производстве энергосистемой [12–14]:

$$LCOE = \frac{\sum_{q=1}^n (I_q + OM_q + F_q)(1+r)^{-q}}{\sum_{q=1}^n E_q(1+r)^{-q}}, \quad (3)$$

где I_q — инвестиции, осуществлённые в году q , руб.; OM_q — затраты на эксплуатацию, амортизационные отчисления в год q , руб.; F_q — расходы на топливо в году q , руб.; E_q — производство электроэнергии в году q , кВт·ч; r — ставка дисконтирования; n — расчётный срок, $n = 25$ лет;

$$OM_q = \left[\sum_{k=1}^n (a_{ddk} + a_{rk}) I_{qk} + OM_q^{ДЭС} \right] \times (1 + \epsilon_{oc})^{q-1}, \quad (4)$$

где a_{ddk} — норма амортизации для k -й электростанции, %; a_{rk} — ежегодные отчисления на обслуживание и ремонт для k -й электростанции, %; I_{qk} — капитальные вложения в k -ю электростанцию, руб.; ϵ_{oc} — коэффициент увеличения издержек в q -й год.

Значение a_{ddk} для различных типов станций определяется как величина, обратная сроку эксплуатации. Величина a_r для солнечных электростанций (СЭС) может быть принята на уровне 3 %, для ветровых и тепловых электростанций — 5 % [14].

Для дизельных электростанций (ДЭС) затраты на техническое обслуживание определяются по формуле [14]:

$$OM_q^{ДЭС} = \left[a_{ddk}^{ДЭС} I_q + \sum_{q=1}^{8760} n_{ДЭС(t)}^{факт} C_m \right] \times (1 + \epsilon_{oc})^{q-1}, \quad (5)$$

где C_m — затраты на техническое обслуживание дизель-генераторной установки, руб/ч. Годовой расход на топливо для ДЭС определяют как [14]:

$$F_q = B k_e c_e (1 + \epsilon_f)^{q-1}, \quad (6)$$

где B — годовой расход условного топлива на производство электроэнергии, т.т.; k_e — калорийный эквивалент натурального топлива, о.е.; c_e — стоимость топлива с учётом доставки, руб/т; ϵ_f — коэффициент увеличения стоимости топлива в q -й год.

Апробация предложенной модели оценки вариантов электроснабжения изолированных потребителей на приме-

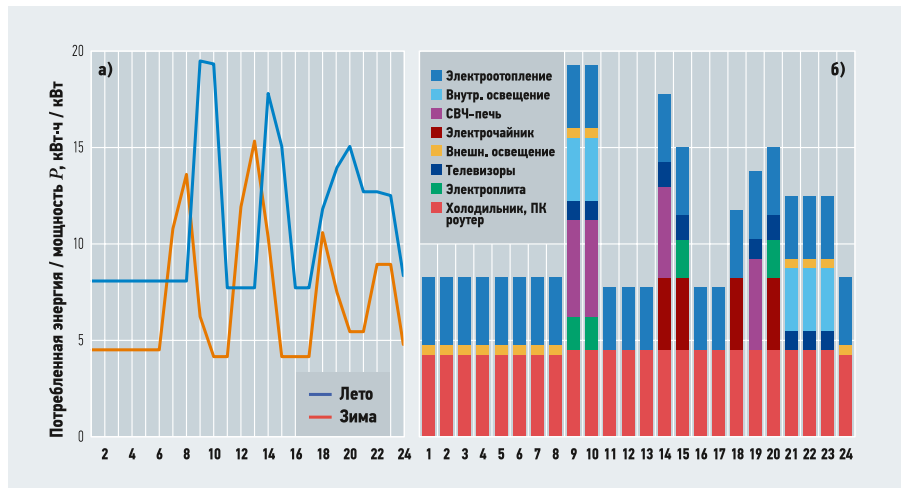


Рис. 3. Формирование электрических нагрузок посёлка Давша (а — сезонные суточные графики нагрузок; б — перечень электрических нагрузок и динамика изменения электропотребления)

ре одного из перспективных туристических объектов, расположенного на Байкальской природной территории.

Этап 1. В качестве территории перспективного развития туристической отрасли в работе рассматривается бухта озера Байкал, находящаяся у места впадения реки Давша. На данном участке в 1947 году была сформирована центральная усадьба Баргузинского заповедника, где присутствовали такие виды деятельности, как разведение северных оленей, охота и рыболовство. В настоящее время посёлок Давша расформирован в связи с трудностями развития и поддержания инфраструктуры, а на месте посёлка действует полевая база «Заповедное Подлеморье». Достопримечательностями посёлка Давша являются музей природы Баргузинского заповедника, а также действующий термальный источник, на котором расположена оздоровительная база, включающая в себя шесть жилых построек для размещения туристов, баню и административное здание. Исходя из режима работы туристической базы, был сформирован перечень электрических нагрузок и сезонные суточные графики изменения электропотребления (рис. 3).

Этап 2. В качестве источников электрической энергии была выбрана СЭС совместно с накопителями энергии. Резервным источником питания выступает дизельная электростанция. На основании формул (1) и (2) при помощи MS Excel было выполнено моделирование покрытия сезонных графиков электрических нагрузок (рис. 3), результаты которого представлены на рис. 4 в виде характерных сезонных недельных графиков работы структуры генерирующих мощностей системы «СЭС — ДЭС — АКБ».

В качестве примера рассмотрена система с установленными мощностями: СЭС — 15 кВт, ДЭС — 20 кВт. Используемая ёмкость накопителей энергии — 10 кВт·ч. Уровень прихода солнечной ра-

диации, а также характеристики работы ДЭС были определены при помощи методик, представленных в [9, 11, 14].

Этап 3. При помощи модели покрытия графиков электрических нагрузок был сформирован перечень альтернативных вариантов с различными соотношениями установленных мощностей энергоисточников, входящих в структуру генерирующих мощностей изолированного потребителя. Используя формулы (3)–(6), была проведена экономическая оценка альтернатив. В табл. 1 представлены наиболее перспективные варианты.

При анализе альтернатив на основании табл. 1 были сделаны выводы:

- с позиции минимизации затрат на электроснабжение без применения АКБ целесообразным является вариант №4, а с применением АКБ — вариант №22;
- с точки зрения максимизации доли «чистой» энергии без применения АКБ целесообразным является вариант №8, а с применением АКБ — вариант №21.

Итоговым решением (табл. 1), исходя из поставленной задачи сравнительной оценки по экономическому критерию в рамках данной работы, является вариант №22: СЭС — 15 кВт, ДЭС — 20 кВт, АКБ — 5 кВт·ч. Доля «чистой» энергии составит 18,99 %. Уровень невосстановленной энергии при использовании данного варианта составляет 742 кВт·ч/год при суммарном энергопотреблении 78549 кВт·ч/год.

Выводы

Результатами данной работы являются:

- анализ проблемы электроснабжения изолированных потребителей территории России, при этом обозначены перспективы применения энергокомплексов на базе местных видов топлива, возобновляемых источников и накопителей энергии;
- предложена модель технико-экономической оценки альтернативных вариантов структуры генерирующих мощностей автономного потребителя электроэнергии;

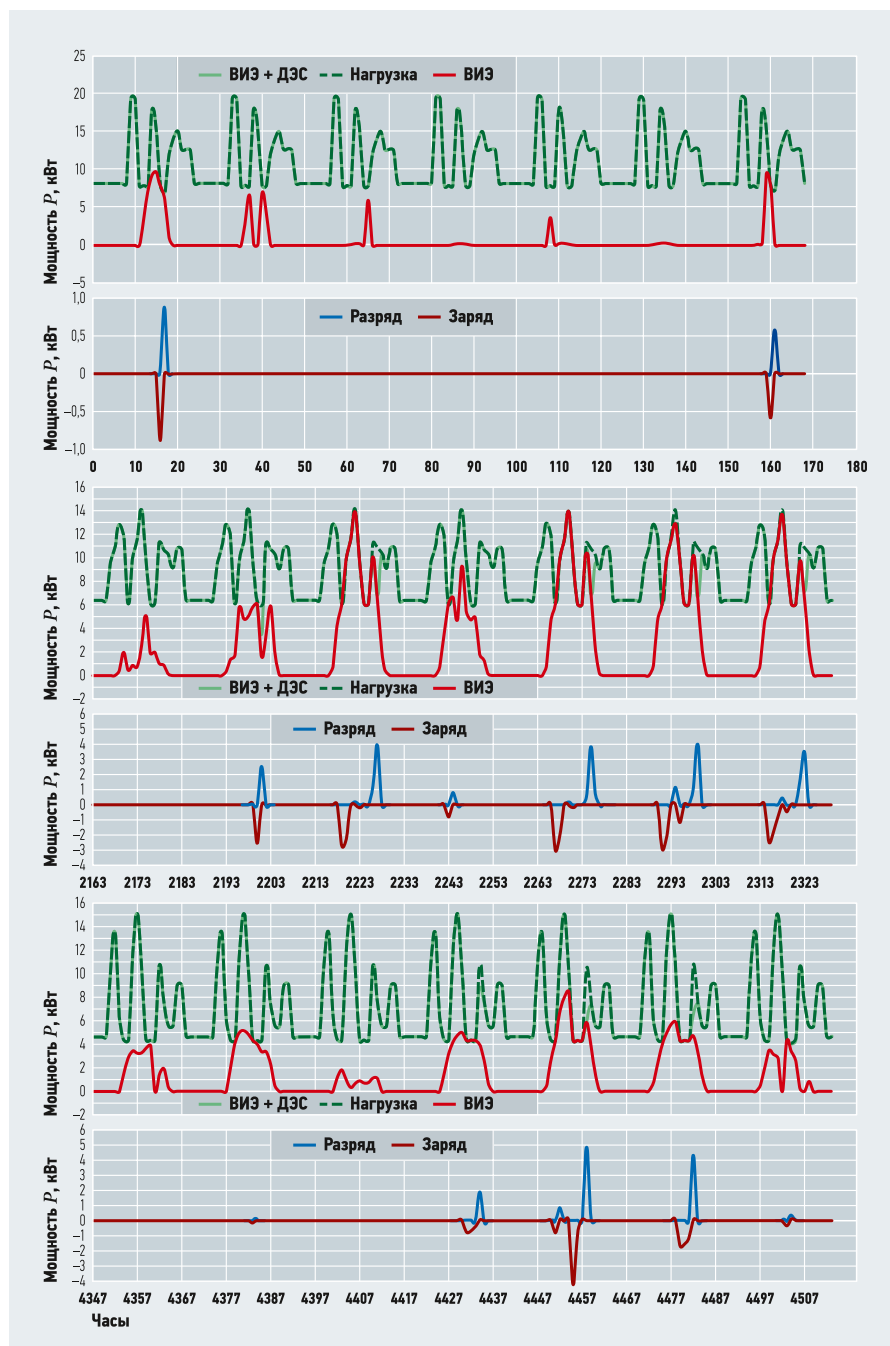


Рис. 4. Характерные сезонные недельные графики работы структуры генерирующих мощностей изолированного потребителя на базе системы «СЭС — ДЭС — АКБ» (а — зимний период, б — весенний период, в — летний период)

Результаты оценки вариантов структуры генерирующих мощностей

табл. 1

№	СЭС, кВт	АКБ, кВт-ч	ДЭС, кВт	LCOE, руб/кВт-ч	Уровень «чистой» энергии, %	№	СЭС, кВт	АКБ, кВт-ч	ДЭС, кВт	LCOE, руб/кВт-ч	Уровень «чистой» энергии, %
1	0	0	20	22,75	0,00	13	35	25	20	22,35	34,42
2	5	0	20	22,19	6,65	14	35	30	20	22,36	35,55
3	10	0	20	21,70	12,95	15	35	35	20	22,37	36,63
4	15	0	20	21,51	17,70	16	35	40	20	22,41	37,62
5	20	0	20	21,60	21,03	17	35	45	20	22,46	38,53
6	25	0	20	21,88	23,37	18	35	50	20	22,52	39,38
7	30	0	20	22,30	25,04	19	35	55	20	22,59	40,17
8	35	0	20	22,79	26,31	20	35	60	20	22,67	40,93
9	35	5	20	22,59	28,52	21	35	65	20	22,76	41,65
10	35	10	20	22,47	30,28	22	15	5	20	21,49	18,99
11	35	15	20	22,41	31,79	23	15	10	20	21,61	19,51
12	35	20	20	22,36	33,18						

проведена апробация предложенной модели на примере изолированного потребителя электрической энергии, расположенного на Байкальской природной территории, перспективной для развития туристической инфраструктуры.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что предложенная модель технико-экономической оценки имеет широкую перспективу применения и будет дополнена в дальнейшем исследованием включением таких модулей, как модуль многокритериальной оценки по экологическому и социальному критериям и модуль оценки использования не востребованной энергии для преобразования в тепловую с дальнейшим использованием в качестве отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

- О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года: Указ Президента РФ от 07.05.2018 №204.
- Заключение №4 по итогам расширенного заседания Секции по законодательному регулированию распределённой энергетики и возобновляемых источников энергии Экспертного совета при Комитете Государственной Думы ФС РФ по энергетике от 19.01.2022 г. [Электр. текст]. Режим доступа: komitet-energo.duma.gov.ru. Дата обращ.: 10.10.2024.
- Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года: Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 №1523-р. [Утр. силу]
- Губанов М., Киушкина В., Широков А. О создании фонда развития локальных энергосистем // Энергетическая политика, 2023. №9. С. 70–83.
- Турпоток на «Большой Байкал» к 2030 году должен вырасти в два раза [Электр. текст]. ИА «ТАСС» от 14.03.2022. Режим доступа: tass.ru. Дата обращ.: 10.10.2024.
- Потапов А. Шанс на развитие Байкальской территории [Электр. текст]. ИД «Восточная Сибирь» от 18.06.2023. Режим доступа: vspress.ru. Дата обращ.: 10.10.2024.
- Чернова А.В. Обоснование параметров энергокомплекса ВЭС-ГЭС в Архангельской области // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2013. №2. С. 29–39.
- Коваленко Е.В., Тягунов М.Г. Гибридные энергетические комплексы с когенерацией в изолированных энергетических системах // Альтернативная энергетика и экология, 2015. №10–11. С. 167–177.
- Нефедов А.С., Шакиров В.А., Яковкина Т.Н. Многокритериальный двухэтапный выбор структуры генерирующих мощностей в удалённых районах // Промышленная энергетика, 2019. №6. С. 14–24.
- Расписание погоды [Электр. ресурс]. Режим доступа: gr5.ru. Дата обращ.: 10.10.2024.
- Шакиров В.А. Методика оценки прихода суммарной солнечной радиации на наклонные поверхности с использованием многолетних архивов метеорологических данных // Системы. Методы. Технологии, 2017. №4. С. 115–121.
- Shen W., Chen X., Qiu J., Hayward J.A., Sayeef S., Osman P., Meng K., Dong Zh.Y. A comprehensive review of variable renewable energy levelized cost of electricity. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2020. Vol. 133. Issue 1.
- Hansen K. Decision-making based on energy costs: Comparing levelized cost of energy and energy system costs. Energy Strategy Reviews. 2019. Vol. 24. Pp. 68–82.
- Нефедов А.С., Яковкина Т.Н. Многокритериальный выбор мощности электростанций на основе возобновляемых источников энергии и местных видов топлива в составе локальной энергосистемы // Вестник ИргТУ, 2020. Т. 24. №6. С. 1255–1270.

References — see page 80.

Ariana V. Yakovkina, student, the Faculty of Energy and Automation; **Alexander S. Nefedov**, senior lecturer, the Department of Power Engineering, Bratsk State University (BSU, Bratsk city)

1. *O natsional'nykh tselyakh i strategicheskikh zadachakh razvitiya Rossijskoj Federatsii na period do 2024 goda* [On the national goals and strategic objectives for the development of the Russian Federation through 2024]. *Ukaz Prezidenta RF ot 07.05.2018 №204* [Decree of the President of the Russian Federation No. 204 of May 7, 2018]. [In Russian]
2. *Zaklyuchenie No. 4 po itogam rasshirennoho zasedaniya Sektsii po zakonodatel'nomu regulirovaniyu raspredelennoj energetiki i vozobnovlyаемых istochnikov energii Ekspertnogo soveta pri Komitete Gosudarstvennoj Dumy FS RF po energetike ot 19.01.2022 g.* [Conclusion No. 4 following the results of the extended meeting of the Section on Legislative Regulation of Distributed Energy and Renewable Energy Sources of the Expert Council under the State Duma Committee on Energy of January 19, 2022]. Web-source: komitet-energo.duma.gov.ru. Access date: October 10, 2024. [In Russian]
3. *Ob utverzhdenii Energeticheskoy strategii Rossijskoj Federatsii na period do 2035 goda* [On approval of the Energy Strategy of the Russian Federation through 2035]. *Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 09.06.2020 №1523-r* [Order of the Government of the Russian Federation No. 1523-r of June 9, 2020; Withdr.]. [In Russian]
4. M. Gubanov, V. Kiushkina, A. Schirokov. *O sozdanii fonda razvitiya lokal'nykh energosistem* [On the creation of a fund for the development of local energy systems]. *Energeticheskaya politika* ["Energy Policy" Magazine]. 2023. No. 9. Pp. 70–83. [In Russian]
5. *Turpotok na "Bol'shoj Bajkal" k 2030 godu dolzhen vyrasti v dva raza* [Tourist flow to "Big Baikal" should double by 2030]. "TASS" News Agency of March 14, 2022. Web-source: tass.ru. Access date: October 10, 2024. [In Russian]
6. A. Potapov. *Schans na razvitie Bajkalskoj territorii* [Chance for the development of the Baikal territory]. "Eastern Siberia" Publishing House of June 18, 2023. Web-source: vspress.ru. Access date: October 10, 2024. [In Russian]
7. A.V. Chernova. *Obosnovanie parametrov energokompleksa VES-GES v Arhangel'skoj oblasti* [Justification of the parameters of the wind farm-hydroelectric power plant energy complex in the Arkhangelsk region]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij* ["Construction of unique buildings and structures" Magazine]. 2013. No. 2. Pp. 29–39. [In Russian]
8. E.V. Kovalenko, M.G. Tyagunov. *Gibridnye energeticheskie komplekсы s kogeneratsiej v izolirovannykh energeticheskikh sistemakh* [Hybrid energy complexes with cogeneration in isolated energy systems]. *Alternativnaya energetika i ekologiya* ["Alternative energy and ecology" Magazine]. 2015. No. 10–11. Pp. 167–177. [In Russian]
9. A.S. Nefedov, V.A. Schakirov, T.N. Yakovkina. *Mnogokriterial'nyj dvukhetapnyj vybor struktury generiruyushchikh moshchnostej v udalennykh rajonakh* [Multi-criteria two-stage selection of the structure of generating capacities in remote areas]. *Promyshlennaya energetika* ["Industrial energy" Magazine]. 2019. No. 6. Pp. 14–24. [In Russian]
10. *Raspisanie pogody* [Weather schedule]. Web-source: rp5.ru. Access date: October 10, 2024.
11. V.A. Schakirov. *Metodika otsenki prikhoda summarnoj solnechnoj radiatsii na naklonnye poverkhnosti s ispol'zovaniem mnogoletnikh arhivov meteorologicheskikh dannykh* [Methodology for estimating the arrival of total solar radiation on inclined surfaces using long-term archives of meteorological data]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* ["Systems. Methods. Technologies" Magazine]. 2017. No. 4. Pp. 115–121. [In Russian]
12. W. Shen, X. Chen, J. Qiu, J.A. Khayward, S. Sayeef, P. Osman, K. Meng, Zh.Y. Dong. A comprehensive review of variable renewable energy levelized cost of electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020. Vol. 133. Issue 1.
13. K. Hansen. Decision-making based on energy costs: Comparing levelized cost of energy and energy system costs. *Energy Strategy Reviews*. 2019. Vol. 24. Pp. 68–82.
14. A.S. Nefedov, T.N. Yakovkina. *Mnogokriterial'nyj vybor moshchnosti elektrostantsij na osnove vozobnovlyаемых istochnikov energii i mestnykh vidov topliva v sostave lokal'noj energosistemy* [Multi-criteria selection of power plants capacity based on renewable energy sources and local fuels as part of a local energy system]. *Vestnik IrGTU* [Bulletin of the Irkutsk State Technical University]. 2020. Vol. 24. No. 6. Pp. 1255–1270. [In Russian]