

Влияние исходных метеоданных на результаты проектирования автономных ВИЭ-систем

Рецензия эксперта на статью получена 24.09.2025 [The expert review of the article was received on September 24, 2025]

Вопросы обеспечения электроэнергией удалённых и труднодоступных регионов [1], которые могут быть решены за счёт внедрения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) там, где это экономически целесообразно [2], становятся всё более актуальными в связи с проектами освоения Дальнего Востока и Арктики.

При разработке автономных энергосистем, требующих бесперебойного электроснабжения, выбор оптимальной конфигурации системы представляет собой крайне ответственную задачу. Оптимизация конфигурации энергосистемы, состоящая в выборе технических характеристик и условий эксплуатации солнечных батарей (СБ), ветроэлектрической установки (ВЭУ) и системы накопления энергии (СНЭ), также приводит к наиболее эффективному использованию оборудования [3]. Оптимизация работы СНЭ особенно важна, поскольку, как правило, стоимость жизненного цикла СНЭ составляет около 30–40 % от стоимости всей автономной системы электроснабжения. Редко используемым, но эффективным способом снижения потребности в СНЭ является управление нагрузкой для её следования за выработкой энергии от ВИЭ [4].

Заказчик всегда хочет, чтобы надёжность энергоснабжения была стопроцентной, иногда к этому прямо обязывают требования к особой группе потребителей первой категории, но не всегда присутствует понимание, как дорого придётся за это заплатить. Например, порядок совокупной стоимости владения автономным источником питания, относящимся к особой группе первой категории, в Ямало-Ненецком автономном округе составляет более 1 млн руб. за 1 кВт средней мощности нагрузки [5] (также см. график зависимости стоимости от надёжности в конце статьи).

Нередко выясняется, что требования к надёжности вполне можно снизить, но ещё чаще получается так, что истинная надёжность (даже без поломок оборудования) и сроки службы аккумуляторных батарей (АБ) оказываются значительно ниже расчётных. Ознакомившись со сложившейся практикой, мы пришли к выводу, что значительное влияние на такие результаты оказывает временное разрешение исходных метеоданных [6–8], используемых при энергетических расчётах.

Заказчик всегда хочет, чтобы надёжность энергоснабжения была стопроцентной, но не всегда у него присутствует понимание, как дорого придётся за это заплатить

Традиционный метод расчёта параметров эффективности систем электроснабжения основан на использовании климатических данных. Если необходимо прогнозировать погодные условия на годы вперёд, то использование усреднённых по годам климатических данных при проектировании сетевых электростанций на основе ВИЭ даёт наиболее надёжные результаты.

Однако такой подход неприменим к автономным энергосистемам, поскольку теряется возможность детального анализа поведения системы. Причина кроется в том, что климатические данные, усреднённые по времени за несколько лет, исключают нулевую или минимальную выработку энергии при неблагоприятных погодных условиях, а также имеются случаи не востребоваемости энергии системой, когда СНЭ полностью заряжена.

УДК 620.9. Научная специальность: 2.4.5.

Влияние исходных метеоданных на результаты проектирования автономных ВИЭ-систем

Александр Валерьевич Клоков, магистрант, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (МГТУ); **Оксана Викторовна Слуккина**, студент, МГТУ; **Павел Владимирович Емельянов**, студент, МГТУ; **Егор Юрьевич Локтионов**, к.т.н., заведующий лабораторией, МГТУ; **Софья Юрьевна Бадамшина**, магистрант, МГТУ

В данной работе выполнен анализ зависимости технико-экономических параметров системы автономного электроснабжения на основе ВИЭ от временного разрешения исходных метеоданных (от пяти минут до четырёх часов). Установлено, что достаточно использовать метеоданные с временным шагом не более чем один час, которые в основном широко доступны. Отмечена неприменимость традиционного подхода, основанного на использовании климатических данных, при проектировании автономных систем на основе ВИЭ.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, гибридные энергосистемы, система накопления энергии, автономные энергосистемы, солнечная энергетика, ветроэнергетика, климатические данные, метеорологические данные.

UDC 620.9. Scientific specialty: 2.4.5.

Influence of initial weather data on the design results of autonomous renewable energy systems

Alexander V. Klovov, Master's student, Bauman Moscow State Technical University (MSTU); **Oksana V. Slukina**, student, MSTU; **Pavel V. Yemelyanov**, student, MSTU; **Egor Yu. Loktionov**, PhD (Engineering), Head of Laboratory, MSTU; **Sofya Yu. Badamshina**, Master's student, MSTU

In this paper, the dependence of the technical and economic parameters of an autonomous power supply system based on renewable energy sources on the time resolution of the initial meteorological data (from five minutes to four hours) is analyzed. It has been established that it is sufficient to use weather data with a time step of no more than one hour, which is widely available. The inapplicability of the traditional approach based on the use of climate data in the design of autonomous renewable energy systems is noted.

Key words: renewable energy sources, hybrid energy systems, energy storage system, autonomous energy systems, solar energy, wind energy, climate data, meteorological data.



При использовании климатических данных для проектирования автономных систем электроснабжения это может привести к переоценке надёжности энергоснабжения. Таким образом, учёт реальных метеорологических данных крайне важен для автономных энергосистем на основе ВИЭ. Причём для обеспечения надёжности энергоснабжения важность представляет также и дальнейшее прогнозирование работы энергокомплекса на основе ВИЭ в краткосрочной перспективе [9], что невозможно без использования метеоданных высокого временного разрешения.

Разница в энергии, запасённой в СНЭ в каждый момент времени, при использовании данных с временным разрешением один час или одна минута может достигать 10% [7]. При этом нет необходимости существенно уточнять временное разрешение данных: при сравнении профилей энергии аккумулятора, полученных на основе данных за одну секунду и одну минуту, разница составляет около 1% [7]. В работе [6] было установлено, что при проектировании автономных систем электроснабжения на основе СБ и ВЭУ лучше всего использовать погодные данные с временным разрешением пять минут. Упомянутые исследования основаны на прогнозировании работы одной единственной конфигурации системы электроснабжения. В данной статье, напротив, рассматривается влияние временного разрешения на результаты анализа экономических и технических параметров набора различных конфигураций систем электроснабжения (около 25 тыс. конфигураций для каждого рассматриваемого временного разрешения).

Мы проанализировали влияние временного разрешения входных метеорологических данных на результаты оценки работы гибридной системы автономного

электроснабжения с точки зрения состава системы, её стоимости и надёжности. Основной задачей работы является оценка того, насколько большей может быть ошибка в расчётах при традиционном использовании среднемесячных климатических данных при расчёте автономных источников питания.

Методы

Рассматриваемая система состоит из СБ, ВЭУ и СНЭ. В данном исследовании проведён анализ зависимости надёжности электроснабжения различных конфигураций автономных систем от временного разрешения метеорологических данных, полученных с горных метеостанций. Основными критериями оценки эффективности каждого варианта конфигурации являются надёжность электроснабжения (Reliability Power Supply, RPS), наибольшая продолжительность перерыва в энергоснабжении нагрузки (Load Demand, LD) и полная стоимость оборудования за жизненный цикл (Total Cost of Equipment, TCE). Эти параметры можно рассматривать как характеристики экономической (TCE) и технической (RPS и LD) эффективности системы автономного электроснабжения. Представленные критерии хо-

рошо подходят для оптимизации выбора конфигурации системы электроснабжения, обеспечивающей как наименьшую стоимость, так и наибольшую надёжность. Результаты, полученные в рамках данного исследования, могут быть использованы при проектировании автономных систем на основе ВИЭ.

Процесс выбора оптимальной конфигурации системы автономного энергоснабжения требует комплексного анализа работы отдельных составляющих системы. Таким образом, необходимо проведение математического моделирования работы различных вариантов конфигураций с целью отбора оптимальных решений. В основу расчёта положено рассмотрение энергетического баланса вырабатываемой и потребляемой мощностей. Используемая математическая модель подробно описана в [10].

В качестве потребителя энергии рассматривалась система мониторинга с постоянной мощностью $W_n = 150$ Вт.

Наборы параметров, варьируемых при расчёте, представлены в табл. 1.

В рамках работы использовались данные метеостанций, расположенных на расстоянии примерно 40 км друг от друга, за период времени с 23 ноября 2021 года по 22 ноября 2022 года. Метеорологические данные включают в себя данные о средней скорости ветра, солнечном излучении (GHI), температуре воздуха и атмосферном давлении и были получены из базы данных Ecowitt.

Информация о станциях представлена в табл. 2.

В данной работе рассматривались различные временные разрешения метеорологических данных:

- для периода «23 ноября 2021 года — 22 ноября 2022 года»: 30 минут, один час, два часа, три часа, четыре часа;
- для периода «24 августа 2022 года — 22 ноября 2022 года»: пять минут, десять минут, 15 минут, 20 минут, 30 минут, один час, два часа, три часа, четыре часа.

:: Параметры, варьируемые в процессе моделирования

табл. 1

Параметры	Значения
Отношение установленной мощности солнечной генерации к суммарной установленной мощности (СБ + ВЭУ)	(0–1; шаг 0,1)
Минимальная степень заряда СНЭ, %	(20–80; шаг 20)
Суммарная установленная мощность W_{Σ} , Вт	(10–26; шаг 2) $\times W_n$
Установленная ёмкость СНЭ, Вт·ч	(0–10; шаг 0,5) $\times W_{\Sigma}$

:: Информация о метеостанциях

табл. 2

Идентификатор станции (Ecowitt)	Высота над уровнем моря
23 005	1830 м
39 352	1830 м
47 647	1700 м

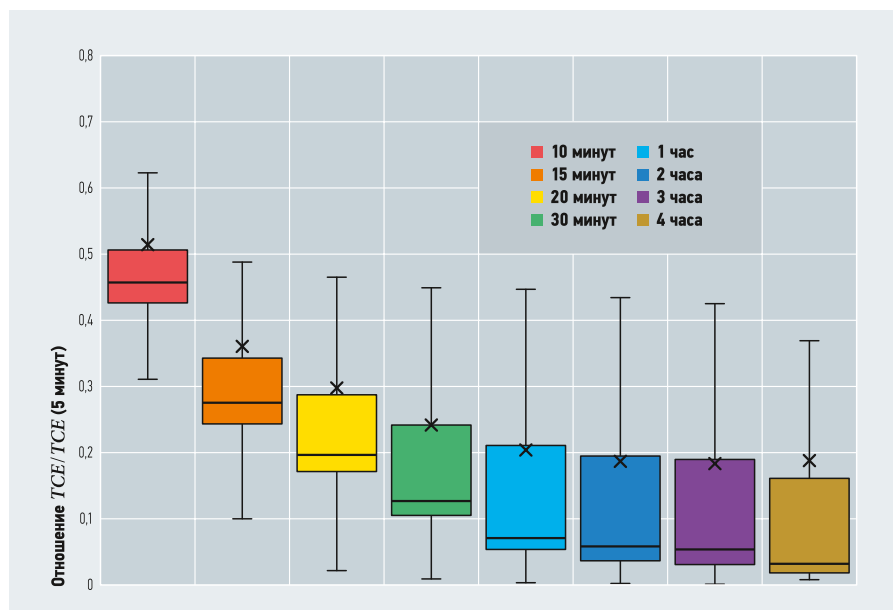


Рис. 1. Диаграммы размаха TCE для трёхмесячных данных (метеостанция № 23005)

Результаты

В результате было смоделировано 24 948 вариантов системы электроснабжения на основе метеоданных для каждого варианта временного разрешения. Для удобства анализа подобных объёмов данных необходимо использовать методы статистической обработки данных. Таким образом, результаты численного моделирования представлены в виде диаграмм размаха (так называемых «ящичков с усами»). Границы «ящичка» — нижний и верхний квартили, линия в середине «ящичка» — медиана, «крест» — среднее арифметическое. Концы «усов» — это границы статистически значимой выборки. Выбросы не показаны.

На рис. 1 показаны диаграммы полной стоимости оборудования конфигураций (TCE) для различных временных разрешений, нормированной на TCE для временного разрешения в пять минут (трёхмесячный набор данных) для станции № 23005. Притом для обоих наборов данных (как для трёхмесячного, так и для годового) наблюдается тенденция к увеличению стоимости при уточнении временного разрешения метеоданных.

Однако при этом также увеличивается разброс данных, что приводит к появлению конфигураций с завышенными значениями TCE. Более того, при значительном увеличении временного разрешения, увеличивается и скорость роста: переход от временного разрешения 15 минут к десяти минутам увеличивает TCE в среднем на 44% для трёхмесячных наборов данных. А переход от временного разрешения в десять минут к пятиминутному разрешению — на 92%. Столь значительное увеличение стоимости (при более высоком временном разрешении данных)

связано с увеличением количества циклов заряда/разряда (которые и определяет срок службы СНЭ) в течение периода моделирования.

На рис. 2 показаны диаграммы наибольшей продолжительности перерыва в энергоснабжении нагрузки (LD) для различных временных разрешений, нормированной на LD для временного разрешения в пять минут для станции № 23005. Наблюдаются незначительные различия между результатами, полученными при временном разрешении десять, 15, 20 и 30 минут для трёхмесячного набора данных. Однако дальнейшее уменьшение разрешения метеорологических данных (один-четыре часа для обоих наборов данных) приводит к завышению результатов LD (по сравнению с расчётом на основе данных, наиболее близких к реальным усло-

виям). Это также приводит к последовательному увеличению разброса результатов по мере уменьшения временного разрешения. Для других метеостанций были получены аналогичные результаты, поэтому они не показаны.

Диаграммы надёжности энергоснабжения (RPS) при различных временных разрешениях, нормированной на RPS при временном разрешении в пять минут (трёхмесячный набор данных) представлены на рис. 3 для станции № 23005. Разница между результатами, полученными при временном разрешении от десяти минут до одного часа (от одного до двух часов) и полученными при пяти минутах (30 минут), находится в пределах 3% для большинства конфигураций всех трёх метеостанций для трёхмесячных наборов

Результаты численного моделирования представлены в виде диаграмм размаха. Они показывают нижние и верхние квартили, медианы, средние арифметические и границы статистически значимых выборок

данных (годовых наборов данных). Примечательно, что временное разрешение в три часа позволяет более точно оценить RPS, чем разрешение в два часа для обоих наборов данных (по результатам расчётов на основе метеоданных со станции № 23005). В то же время результаты расчётов по данным метеостанции № 23005 демонстрируют явную тенденцию к завышению RPS при использовании метеоданных большего временного разрешения.

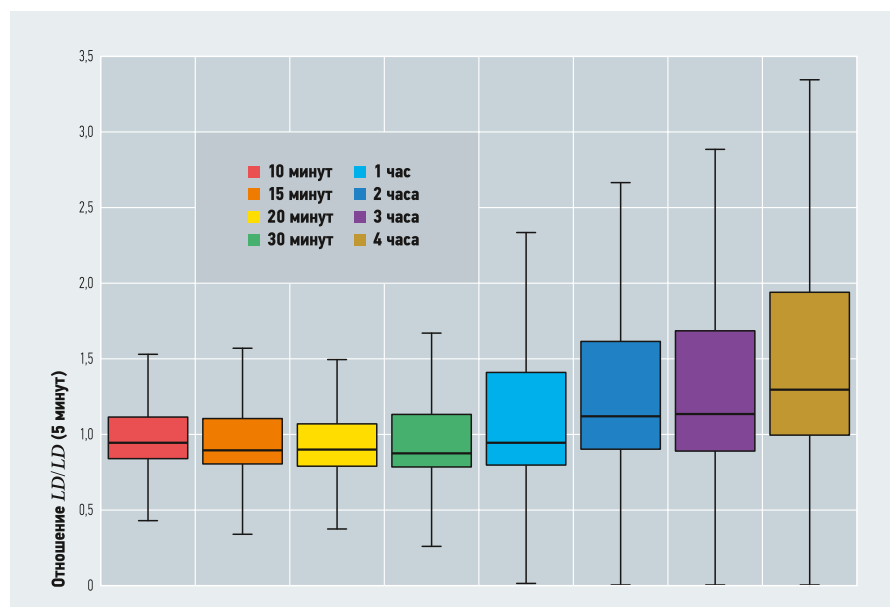


Рис. 2. Диаграммы размаха LD для трёхмесячных данных (метеостанция № 23005)

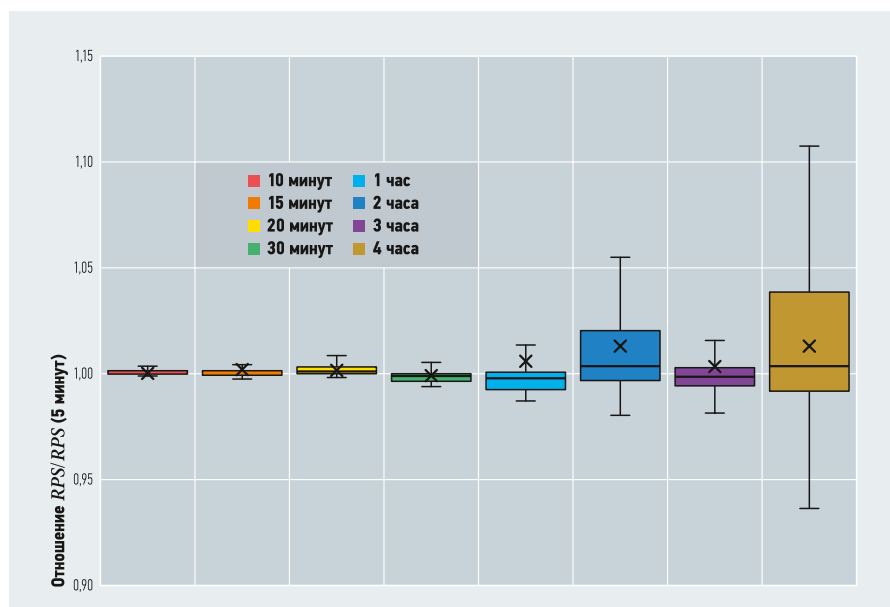


Рис. 3. Диаграммы размаха RPS для трёхмесячных данных (метеостанция № 23005)

Результаты расчётов по данным метеостанции № 39352, напротив, показывают занижение. Результаты, полученные по данным станции № 47647, также имеют тенденцию к занижению RPS при использовании грубого временного разрешения (за исключением временного разрешения в три часа, которое, напротив, приводит к завышению RPS).

Таким образом, для трёхмесячных наборов данных установлена независимость надёжности энергоснабжения от расположения метеостанции в пределах временного разрешения данных от пяти минут до одного часа. Однако при использовании более грубых временных разрешений (два-четыре часа для обоих наборов данных) наблюдаются специфические зависимости RPS для каждой из трёх метеостанций. Также на первый взгляд может показаться, что результаты расчётов по четырёхчасовым метеоданным значительно отличаются от результатов по более точным метеоданным высокого временного разрешения. Однако это не так: на самом деле 50 % результатов (что легко прослежи-

Технико-экономические показатели конфигурации

табл. 3

Идентификатор станции	Полная стоимость оборудования (ТСЕ), тыс. руб.	Надёжность (RPS), %	Максимальная продолжительность перерыва в энергоснабжении (LD), ч
47 647	1023	96,3	15,0
23 005	972	98,1	14,8
39 352	962	97,8	17,4

вается по диаграмме размаха), полученных по четырёхчасовым данным, имеют отличия в пределах 5 % (для одного года) и 10 % (для трёх месяцев) от результатов расчёта, полученных по наиболее точному временному разрешению для обоих наборов. Соответственно, статистически значимых различий не наблюдается.

Результаты анализа эффективности одних и тех же вариантов конфигурации системы автономного электроснабжения практически не имеют зависимости от расположения метеостанции. При этом установка ВЭУ не оказалась экономически целесообразной, по причине низкой скорости ветра по данным каждой из метеостанций. Основные экономические и технические характеристики одной

определённой конфигурации, близкой к оптимуму по соотношению ТСЕ и RPS (использованы метеоданные за один год; минимально допустимая степень заряда СНЭ $SoC_{min} = 0,2$; установленная мощность СБ $W_{СБ} = 3$ кВт; установленная мощность ВЭУ $W_{ВЭУ} = 0$ кВт; установленная ёмкость СНЭ $E_{СНЭ}^{уст} = 6$ кВт·ч), для примера приведены в табл. 3.

В рамках работы также была проведена оценка с использованием усреднённых климатических данных для расположения метеостанции № 23005. В случае использования среднемесячных данных, оптимальная установленная мощность СБ составляет порядка 3,3 кВт, а использование ВЭУ также нецелесообразно. При этом оценка ёмкости аккумуляторной ба-

тарей в явном виде недопустима, так как отсутствует возможность анализа циклирования с учётом колебаний выработки ВИЭ. В таком случае ёмкость АБ выбирается так, чтобы она могла обеспечить работу нагрузки в течение нескольких дней (3,6 кВт·ч). Полная стоимость оборудования для такой конфигурации составляет 765 тыс. руб.

Обсуждение

Таким образом, можно выделить чёткий тренд к недооценке полной стоимости оборудования ТСЕ и переоценке наибольшего перерыва в энергоснабжении LD по мере уменьшения временного разрешения, что актуально как для трёхмесячных, так и для годовых наборов данных.

Анализ динамики надёжности RPS по мере уменьшения временного разрешения не даёт таких однозначных результатов. С одной стороны, для трёхмесячных наборов данных использование метеоданных с временным разрешением от десяти минут до одного часа приводит к результатам, незначительно отличающимся от тех, что получены с использованием пятиминутных данных (разница менее 3 %). То же самое справедливо и для годовых наборов данных: использование данных с временным разрешением один и два часа приводит к результатам, незначительно отличающимся от тех, которые были получены при использовании 30-минутных данных. Но, с другой стороны, нет определённой закономерности во влиянии на



RPS переходов между временными разрешениями в два, три и четыре часа: зависимость имеет индивидуальный характер для каждой из трёх метеостанций. Также не была обнаружена зависимость результатов от расположения метеостанции. Надёжность RPS претерпевает минимальные изменения даже при значительном увеличении временного разрешения, как в [6, 7]. Но, в то же время, стоимость TCE имеет экспоненциальный характер роста, что не позволяет однозначно определить оптимальное временное разрешение метеоданных, которое универсально может быть использовано при проектировании системы автономного электроснабжения (в [7, 8] отсутствует оценка стоимости системы энергообеспечения). Такое поведение стоимости связано с увеличением количества циклов заряда/разряда СНЭ за расчётный период, что приводит к более частой её замене и резкому росту TCE. В [3] исследуется стоимость фотоэлектрической системы в зависимости от временного разрешения, но без учёта ограничения срока службы СНЭ, что приводит к результатам, противоположным нашим: разница в стоимости уменьшается при уточнении временного разрешения. Следовательно, при моделировании системы автономного электроснабжения стоит отметить важность учёта влияния циклирования СНЭ на срок её службы и впоследствии на оценочную стоимость системы.

Таким образом, при анализе работы конкретной конфигурации системы автономного электроснабжения с точки зрения надёжности RPS и наибольшей продолжительности отключения LD (с достаточной степенью согласованности с реальными условиями эксплуатации) допускается использование метеоданных с временным разрешением до одного часа (включительно). Также в рамках исследования на основе метеоданных высокого временного разрешения отмечено, что использование гибридных систем электроснабжения в рассматриваемом горном районе нецелесообразно, так как скорость ветра недостаточна для эффективного использования ВЭУ (по данным каждой из трёх метеостанций). Установлено, что разница в результатах расчётов относительного изменения основных экономических и технических характеристик (при изменении временного разрешения метеоданных) незначительна в зависимости от расположения метеостанции.

При этом среднемесячные данные (применяющиеся при проектировании по классическим методикам) не допускают корректную оценку требуемой установленной мощности ВЭУ для данной мест-

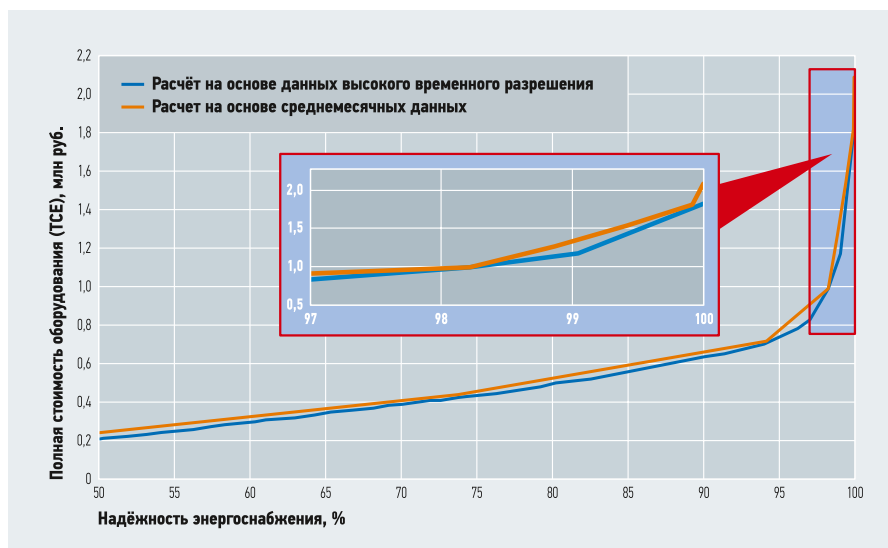


Рис. 4. Зависимость минимальной полной стоимости оборудования (TCE) от требуемой надёжности энергоснабжения (RPS). Результаты расчёта по среднемесячным данным и метеоданным с временным разрешением пять минут (метеостанция № 23005)

ности: среднемесячная скорость ветра ни в один из месяцев для всех трёх метеостанций не возрастает выше 1,2 м/с (минимальная скорость ветра, необходимая для начала работы ВЭУ, лежит в районе 1,5–2 м/с). В том числе подобные данные не дают возможности оценить требуемую ёмкость АБ в явном виде. При использовании усреднённых данных ёмкость АБ обычно оценивается интегрально исходя из требований к бесперебойности энергоснабжения, а не с точки зрения обеспечения взаимного оптимума по технико-экономическим параметрам. Подобный расчёт также не позволяет оценить надёжность энергоснабжения и максимальную продолжительность перерыва (параметры, критически важные для автономных систем) в энергоснабжении из-за предположения о том, что распределение инсоляции непрерывно и постоянно в течение месяцев (не рассматриваются ночные промежутки отсутствия выработки). Несмотря на относительную схожесть в результатах оптимизации (по усреднённым климатическим данным и данным высокого временного разрешения), полученным в данном исследовании, озвученные ранее недостатки работы с усреднёнными данными могут привести к значительным ошибкам при проектировании, что было также отмечено в работе [10].

При анализе работы конкретной конфигурации системы автономного электроснабжения с точки зрения надёжности и наибольшей продолжительности отключения необходимо использовать метеоданные с временным разрешением не более одного часа

Далее мы проверили, как рассчитанные с использованием среднемесячных данных (для координат метеостанции № 23005) конфигурации работали бы в реальных условиях (использовали пятиминутные данные). В результате установлено, что для RPS = 99,18 % (соответствует третьей категории электроснабжения), лишь 8,6 % из этих результатов, полученных с использованием данных с разрешением пять минут соответствуют данному условию (для четырёхчасовых данных — 9 %). В случае первой категории электроснабжения (RPS = 100 %), эти показатели составляют 6,4 и 6,1 % для четырёхчасовых и пятиминутных данных, соответственно.

Наиболее дешёвая конфигурация, соответствующая RPS = 100 %, при расчёте по среднемесячным данным (в соответствии с ними солнце светит всегда) имеет полную стоимость оборудования 165 тыс. руб. (установленная мощность СБ составляет 3,3 кВт) и не предполагает установку АБ. На практике так, конечно, никто не делает, а ёмкость АБ выбирают из неких соображений, часто — умножая установленную мощность СБ на четыре часа. Однако в случае расчёта по реальным метеоданным с наименьшим временным разрешением, также учитывающим наличие ночи, наиболее дешёвая конфигурация, способная обеспечить стабильное энергоснабжение для первой категории, имеет TCE уже около 1,82 млн руб.: установленная мощность СБ — 3,9 кВт, номинальная ёмкость АБ — 9,75 кВт·ч (аналогично и для четырёхчасовых данных). Расчёт на основе данных типичного метеорологического года (ТМГ), полученных из сервиса PGIS, дал результаты, сопоставимые по стоимости с результатами, полученными по реальным метеоданным



высокого временного разрешения: минимальная стоимость TCE конфигурации для первой категории электроснабжения составила 1,98 млн руб. (установленная мощность СБ — 7,5 кВт, установленная ёмкость АБ — 9,7 кВт·ч).

График зависимости минимальной стоимости TCE от требуемой надёжности энергоснабжения RPS для оптимальных конфигураций, полученных с использованием пятиминутных метеоданных, а также график для конфигурации, полученной при расчёте по среднемесячным данным, для которой зависимость TCE (RPS) при варьировании ёмкости АБ была пересчитана с использованием пятиминутных данных, представлены на рис. 4. Полученные результаты подчёркивают неприемлемость усреднённых климатических данных для оптимизации состава автономных энергосистем на основе ВИЭ с точки зрения бесперебойности энергоснабжения, так как расчёт на их основе не позволяет однозначно оценить оптимальную ёмкость АБ, хотя и приводит к нахождению величины установленной генерирующей мощности, приближенной к оптимальной. Разница в стоимости TCE между оптимальными конфигурациями, полученными по среднемесячным данным и по данным высокого временного разрешения, составляет от 5 до 15 % (для RPS = 100 %).

Из рис. 4 видно, что при RPS > 95 % происходит резкий рост TCE. На наш взгляд, понимание характера этой зависимости крайне важно для заказчика при формулировании адекватных требований к автономным источникам питания в отсутствие жёстких предписаний. Так, для систем мониторинга потеря 5 % данных, как правило, не является критической, особенно при организации поддержания резерва энергии для передачи экстренных сообщений. Оптимизация нагрузки, управление ею (отключение неприоритетных потребителей, прореживание сеансов связи и т.д.) в случае нехватки энергии может сэкономить очень большие средства.

Заключение

В данной работе выполнен анализ зависимости технико-экономических параметров системы автономного электроснабжения от временного разрешения исходных метеоданных. В качестве технико-экономических параметров были рассмотрены надёжность энергоснабжения, полная стоимость оборудования конфигурации и наибольшая продолжительность перерыва в энергоснабжении нагрузки.

В рамках работы было смоделировано 24 948 различных конфигураций (при варьировании установленной мощности ВИЭ, установленной ёмкости СНЭ, минимально допустимого заряда СНЭ, соотношения мощности установленных СБ и ВЭУ) для различных временных разрешений метеоданных (пять, десять, 15, 20 и 30 минут и один, два, три и четыре часа), полученных с трёх горных метеостанций. Затем результаты оценки технико-экономических параметров, полученные при использовании различных временных разрешений, были сравнены друг с другом в пределах одинаковых конфигураций.

В результате анализа установлена нецелесообразность существенного уточне-

ния временного разрешения метеоданных для оценки надёжности RPS: достаточно использовать метеоданные с временным шагом не более чем один час, которые достаточно широко доступны.

С другой стороны, был отмечен экспоненциальный характер роста стоимости конфигураций TCE (из-за большого числа учтённых циклов «заряд/разряд» СНЭ) по мере увеличения временного разрешения, а также завышение значения наибольшей продолжительности перерыва в энергоснабжении LD по мере уменьшения временного разрешения.

На основе проведённого исследования рекомендуется использовать временное разрешение метеоданных в один час при прогнозировании работы систем автономного энергоснабжения. Отмечено, что использование усреднённых помесечно климатических данных при проектировании автономных энергосистем может приводить к значительным ошибкам (наиболее значимая из них — переоценка надёжности энергоснабжения).

Также показаны возможности для существенного снижения стоимости автономных источников питания на основе ВИЭ при грамотном управлении нагрузкой и требованиями к надёжности энергоснабжения.

Помимо прочего, было установлено, что системы электроснабжения на основе солнечных батарей оказались наиболее продуктивными и дешёвыми (в год) для рассматриваемых горных районов.

Таким образом, установка гибридных систем электроснабжения на основе СБ и ВЭУ оказалась нецелесообразной в данном регионе: гибридные системы оказались менее продуктивными и более дорогостоящими, чем системы, построенные только на основе СБ. ●

1. Badamshina S.Yu., Klovov A.V., Loktionov E.Yu. Case study of microgeneration for power supply in remote island communities. Proc. of the 6th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). February 29 — March 2, 2024. Moscow, Russia. NRU "MPEI". 2024. Pp. 1–6.
2. Зубакин В.А., Жуков П.А. Экономическая эффективность электростанций на возобновляемых источниках энергии на примере показателя LCOE // Журнал СОК, 2024. №10. С. 72–75.
3. Chiang M.-Yu., Huang S.-Ch., Hsiao T.-Ch., Zhan T.-Sh., Hou J.-Ch. Optimal sizing and location of photovoltaic generation and energy storage systems in an unbalanced distribution system. Energies. 2022. Vol. 15. No. 6682. 22 p.
4. Klovov A.V., Tutunin A.S., Sharaborova E.S., Korshunov A.A., Loktionov E.Yu. Inverter heat pumps as a variable load for off-grid solar-powered systems. Energies. 2023. Vol. 16. Issue 16.
5. Egorova O., Klovov A.V., Loktionov E.Yu. Life cycle costs of stand-alone monitoring systems in the Arctic. Proc. of the 2023 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). September 29 — October 1, 2023. Magnitogorsk, Russia. Nosov Magnitogorsk State Technical University (NMSTU). 2023. Pp. 510–515.
6. Tang R., Abdulla K., Leong P.H., Vassallo A., Dore J. Impacts of temporal resolution and system efficiency on PV battery system optimization. Proc. of the Asia-Pacific Solar Research Conference. December 5–7, 2017. Melbourne, Australia. 2017. 21 p.
7. Hauck B., Wang W., Xue Y. On the model granularity and temporal resolution of residential PV battery system simulation. Developments in the Built Environment. 2021. Vol. 6.
8. Jaszczur M., Hassan Q., Teneta J. Temporal load resolution impact on PV/grid system energy flows. Materials Science, Technology and Engineering Conference (MATEC Web Conference). 2018. Vol. 240. No. 04003. 6 p.
9. Величко А.И., Повернов М.С., Шувалов Н. Применение алгоритмов оптимизации для повышения надёжности работы энергосистем // Журнал СОК, 2023. №6. С. 66–73.
10. Klovov A.V., Loktionov E.Yu. Configuring an off-grid hybrid renewable energy system in the Arctic zone. Proc. of the 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). March 16–18, 2023. Moscow, Russia. NRU "MPEI". 2023. Vol. 5. Pp. 1–5.

References — see pages 80.

Influence of initial weather data on the design results of autonomous renewable energy systems. Pp. 72–77.

Alexander V. Klovov, Master's student, Bauman Moscow State Technical University (MSTU); **Oksana V. Slukina**, student, MSTU; Pavel Vladimirovich Yemelyanov, student, MSTU; **Egor Yu. Loktionov**, PhD (Engineering), Head of Laboratory, MSTU; **Sofya Yu. Badamshina**, Master's student, MSTU

1. S.Yu. Badamshina, A.V. Klovov, E.Yu. Loktionov. Case study of microgeneration for power supply in remote island communities. Proc. of the 6th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). February 29 — March 2, 2024. Moscow, Russia. Moscow Power Engineering Institute (NRU "MPEI"). 2024. Pp. 1–6.
2. [V.A. Zubakin, P.A. Zhukov. Ekonomicheskaya effektivnost' elektrostantsij na vozobnovlyemyykh istochnikakh energii na primere pokazatelya LCOE \[The economic efficiency of renewable energy power plants using the example of the LCOE indicator\]. Zhurnal Santekhnika, Otoplenie, Konditsionirovanie \(SOK\) \[Journal of Plumbing, Heating, Ventilation\]. 2024. No. 10. Pp. 72–75. \[In Russian\]](#)
3. M.-Yu. Chiang, S.-Ch. Huang, T.-Ch. Hsiao, T.-Sh. Zhan, J.-Ch. Hou. Optimal sizing and location of photovoltaic generation and energy storage systems in an unbalanced distribution system. *Energies*. 2022. Vol. 15. No. 6682. 22 p.
4. A.V. Klovov, A.S. Tutunin, E.S. Sharaborova, A.A. Korshunov, E.Yu. Loktionov. Inverter heat pumps as a variable load for off-grid solar-powered systems. *Energies*. 2023. Vol. 16. Issue 16.
5. O. Egorova, A.V. Klovov, E.Yu. Loktionov. Life cycle costs of stand-alone monitoring systems in the Arctic. Proc. of the 2023 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). September 29 — October 1, 2023. Magnitogorsk, Russia. Nosov Magnitogorsk State Technical University (NMSTU). 2023. Pp. 510–515.
6. R. Tang, K. Abdulla, P.H. Leong, A. Vassallo, J. Dore. Impacts of temporal resolution and system efficiency on PV battery system optimization. Proc. of the 2017 Asia-Pacific Solar Research Conference (APSRC). December 5–7, 2017. Melbourne, Australia. 2017. 21 p.
7. B. Hauck, W. Wang, Y. Xue. On the model granularity and temporal resolution of residential PV battery system simulation. *Developments in the Built Environment*. 2021. Vol. 6.
8. M. Jaszczur, Q. Hassan, J. Teneta. Temporal load resolution impact on PV/grid system energy flows. Materials Science, Technology and Engineering Conference (MATEC Web Conference). 2018. Vol. 240. No. 04003. 6 p.
9. [A.I. Velichko, M.S. Povernov, N. Shuvalov. Primenenie algoritmov optimizatsii dlya povysheniya nadyozhnosti raboty energosistem \[The use of optimization algorithms to improve the reliability of power systems\]. Zhurnal Santekhnika, Otoplenie, Konditsionirovanie \(SOK\) \[Journal of Plumbing, Heating, Ventilation\]. 2023. No. 6. Pp. 66–73. \[In Russian\]](#)
10. A.V. Klovov, E.Yu. Loktionov. Configuring an off-grid hybrid renewable energy system in the Arctic zone. Proc. of the 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). March 16–18, 2023. Moscow, Russia. Moscow Power Engineering Institute (NRU "MPEI"). 2023. Vol. 5. Pp. 1–5.