

УДК 620.97

Мясоедов Юрий Викторович

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: myv@amursu.ru**Савченко Денис Алексеевич**

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: savchenkodenis2001@yandex.ru**Myasoedov Yuriy Victorovich**

Amur State University

Blagoveschensk, Russia

E-mail: myv@amursu.ru**Savchenko Denis Alekseevich**

Amur State University

Blagoveschensk, Russia

E-mail: savchenkodenis2001@yandex.ru

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ТЕРРИТОРИАЛЬНО ИЗОЛИРОВАННЫХ РАЙОНОВ
ПУТЕМ ПЕРЕВОДА ДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ГИБРИДНЫЕ**

**IMPROVING THE RELIABILITY AND QUALITY OF ELECTRICITY
SUPPLY TO GEOGRAPHICALLY ISOLATED AREAS BY CONVERTING
DIESEL POWER PLANTS TO HYBRID**

Аннотация. В статье рассмотрена проблема надежности и качества электроснабжения территориально изолированных районов с малой плотностью нагрузки. Показано, как на основе комбинированного использования дизельных установок в сочетании с возобновляемыми источниками энергии построить автоматическую гибридную электростанцию. Предложено выбрать типа генерации в гибридной электростанции осуществлять на основе оптимизации структуры генерации.

Abstract. This article considers the problem of reliability and quality of power supply to geographically isolated areas with low load density. It is shown how to build an automatic hybrid power plant based on the combined use of diesel installations in combination with renewable energy sources. It is proposed to choose the type of generation in a hybrid power plant based on the optimization of the generation structure.

Ключевые слова: изолированные системы, дизельные электростанции, возобновляемые источники энергии, гибридные электростанции, децентрализованные районы, автономная структура, виртуальная электростанция.

Key words: isolated systems, diesel power plants, renewable energy sources, hybrid power plants, decentralized areas, autonomous structure, virtual power plant.

DOI: 10.22250/20730268_2022_97_97

В настоящее время значительная часть территорий Российской Федерации (60-65% страны) не обеспечена централизованным электроснабжением [1]. Районы децентрализованного электроснабжения находятся преимущественно в северной части страны (Республика Саха (Якутия), Чукотский автономный округ, Камчатский край и др.), характеризуются весьма низкими эффективностью, надежностью электроснабжения и качеством электроэнергии. При этом с развитием технологий у промышленных и бытовых потребителей требования к надежности электроснабжения возрастают. Поэтому необходимы модернизация и развитие изолированных систем электроснабжения на основе инновационных технологий. Одним из перспективных направлений такого развития является применение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в сочетании с традиционными источниками энергии, используемыми в таких районах.

Стоит учесть, что системы электроснабжения удаленных изолированных территорий отличаются существенными особенностями, которые в большинстве случаев не позволяют использовать для обоснования развития методологию, разработанную для больших электроэнергетических систем, входящих в состав ЕЭС РФ. На формирование структуры и функционирование систем электроснабжения в изолированных районах оказывают влияние следующие особенности этих территорий:

1. Малоосвоенность территорий, преобладание малонаселенных пунктов. Такие территории характеризуются незначительной нагрузкой и уровнем электропотребления, и, соответственно, исключается возможность использования крупных генерирующих установок.

2. Подобные территории характеризуются большой площадью с низкой плотностью электрических нагрузок, поскольку плотность населения в них находится на уровне 1 чел./км. На практике это означает, что переход к централизованному электроснабжению потребует существенных капиталовложений, обусловленных строительством длинных линий электропередачи (ЛЭП) высокого напряжения для связи с Единой электроэнергетической системой или крупными электростанциями, а также пунктов приема электроэнергии высокого напряжения. Но из-за малого электропотребления они окажутся неэффективными, так как будут работать в режиме, близком к холостому ходу. Это в свою очередь приведет к генерации линиями значительного количества зарядной мощности, росту напряжения до недопустимых значений, а, следовательно, к снижению надежности электроснабжения. Процесс передачи электроэнергии будет сопровождаться большими потерями. Для изолированных систем электроснабжения с малой плотностью нагрузки подобное решение не является технически и экономически верным.

3. В данный момент энергетика подобных отдаленных территорий, как правило, базируется на дизельном топливе, которое завозится из других субъектов РФ по сложным логистическим схемам, что приводит как к увеличению стоимости, так и к увеличению сроков доставки. В некоторых случаях срок доставки может достигать трех лет [2].

4. Системы электроснабжения в таких регионах обладают низким качеством электроэнергии, так как чаще всего питаются от одного источника питания (ИП) напряжением 6-10 кВ, при этом регулирование напряжения для обеспечения требований ГОСТ 32144-2013 технически обеспечить невозможно.

5. Низкая технологическая эффективность, вызванная в первую очередь высоким износом оборудования дизельных электростанций, их низким к.п.д., также приводит к низким техническим характеристикам энергоисточников и их низкой энергоэффективности.

6. Суровые природно-климатические условия: от специфического рельефа местности до низкой температуры окружающей среды и наличия вечной мерзлоты.

Все перечисленные особенности приводят к низкому уровню надежности электроснабжения потребителей и высокому уровню экономически обоснованного тарифа на производство электрической энергии дизельными электростанциями. Себестоимость производства электрической энергии в некоторых регионах может составлять от 45 до 70 руб. за кВт·ч (базовый уровень цен в 2021 г. соста-

вил 5,49 руб. кВт·ч) [3]. С одной стороны, подобная ситуация накладывает обязательства на администрации муниципалитетов и регионов по компенсации затрат энергетической компании на обеспечение электричеством населения, а с другой, – делает нерентабельным создание на таких территориях многих видов промышленных производств.

С целью создания экономически благоприятной среды для модернизации и эксплуатации источников энергии в территориально изолированных и децентрализованных системах электроснабжения целесообразно применять инновационные технологии, позволяющие снижать эксплуатационные расходы.

Таким решением может стать создание гибридной электростанции с использованием нескольких синхронизированных источников генерации электроэнергии, включая возобновляемые источники с высоким замещением использования дизельного топлива – на 50% и более и высокой степенью автоматизации, что позволит снизить эксплуатационные расходы на 25% и больше при приемлемых сроках окупаемости проекта [4, 5].

В структуру изолированных систем электроснабжения в качестве основных генерирующих мощностей могут входить: дизель-генераторы (ДГ), мини-ГЭС, системы когенерации и тригенерации, ветряные электростанции (ВЭС), биоэлектростанции, солнечные электростанции (СЭС), водородная энергетика, микротурбины и пр. Для многих из них характерен стохастический характер выработки электроэнергии, однако при учете активного развития современных накопителей электрической энергии, – эта проблема может быть решена [6].

Наиболее перспективным вариантом является надстройка к действующим дизельным электростанциям, представляющая собой совокупность ВИЭ и накопителей электроэнергии. Такой вариант позволил бы сохранить источник постоянной генерации энергии, при этом возобновляемая энергетика смогла бы снизить нагрузку на него, снизить поставки дизельного топлива в регионы и сделать производство электроэнергии более экологичным. Применение накопителей электроэнергии позволяет нивелировать стохастический характер генерации электрической энергии ВИЭ.

Среди ВИЭ выделим те виды, применение которых целесообразно на большинстве территорий РФ: это солнечные панели или электростанции, которые (рис.1), имеют достаточное количество солнечной радиации в год, а также ветрогенераторы или ветряные электростанции, которые согласно розе ветров ряда изолированных регионов могут использоваться достаточно эффективно.



Рис. 1. Карта продолжительности инсоляции в Российской Федерации.

Для подобных изолированных систем электроснабжения целесообразно использовать технологии Smart Grid [8], т. е. организовать работу генерирующих мощностей, накопителей электроэнергии по принципу виртуальной электростанции. Работа виртуальной электростанции обеспечивается

единой системой управления. В данном случае принцип виртуальной электростанции имеет прежде всего техническое назначение, т.е. обеспечивает регулирование частоты, поддержание уровня напряжения и требуемого качества электроэнергии. Общая структурная схема автономной гибридной системы представлена на рис. 2. Предложенная модель предназначена для оптимизации системы управления распределенной генерацией, включающей, в том числе и возобновляемые источники энергии [9]. Такие модели позволяют оптимизировать работу сети по различным параметрам.



Рис.2. Общая структурная схема автономной гибридной системы.

Основываясь на общей структурной схеме, можно предложить структурную схему гибридной электростанции, состоящей из дизельных установок, солнечных панелей, ветрогенераторов, накопителей электроэнергии, которая должна иметь единое автоматическое цифровое управление (рис. 3). Принцип такого управления должен реализовывать автоматический выбор источников энергии, исходя из определенных пороговых значений целесообразности применения того или иного вида первичной энергии, т.е. значений интенсивности солнечного излучения, скоростного напора ветра, заряда накопителя электроэнергии. Если пороговое значение ни одного из перечисленных источников не достигнуто автоматически, к сети подключается дизельная установка.

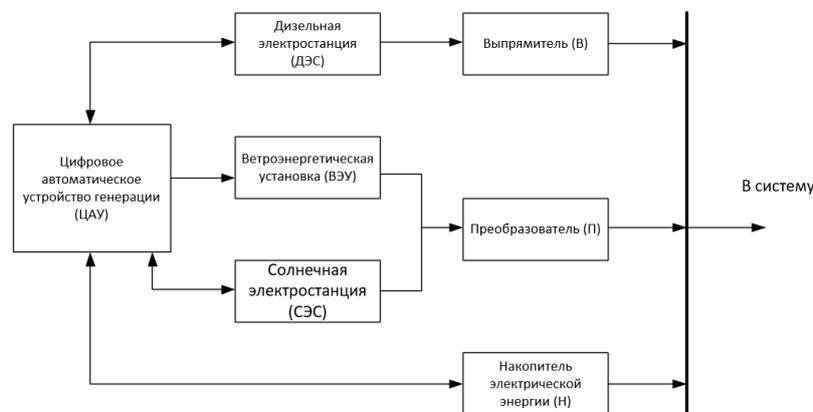


Рис.3. Структурная схема гибридной электростанции, имеющая единое автоматическое цифровое управление.

Рассмотрим пример оптимизации структуры генерации для изолированной системы электроснабжения с точки зрения минимизации затрат на выработку электроэнергии. Проблема развития таких систем может быть решена в виде смешанной задачи целочисленного линейного программирования. В идеальном случае рассматривается многокритериальная задача. Но с целью упрощения целесообразно в качестве основного критерия рассмотреть стоимость топлива, расходуемого на производство электрической энергии, переведя остальные критерии в ограничения. На основании сказанного оптимизируемую функцию и ограничения можно записать в следующем виде [10]:

$$\min \sum_{i=1}^n C_i(u_i P_{gi}), \quad (1)$$

ограничения:

$$\sum_{i=1}^n P_{gi} = P_{e\Sigma} \quad (2)$$

$$u_i P_{gi}^{\min} \leq P_{gi} \leq u_i P_{gi}^{\max}; \quad i = \overline{1, n} \quad (3)$$

где C_i – стоимость топлива; i – номер интервала дискретизации графика нагрузки; n – число интервалов дискретизации графика нагрузки; u – бинарная переменная, зависящая от функционирования каждого генератора, 1 – работает, 0 – не работает; $P_{e\Sigma}$ – суммарная нагрузка изолированной системы; P_{gi} – мощность, вырабатываемая каждым генератором.

Проведенный анализ показал, что комбинированное использование дизельных установок в сочетании с возобновляемыми источниками энергии и накопителями позволит решить проблему повышения надежности электроснабжения и качества электроэнергии в территориально изолированных районах с малой плотностью населения.

1. Информационный обзор. Единая энергетическая система России: промежуточные итоги. Оперативные данные на январь 2022 г. [Электронный ресурс] – М.: Системный оператор единой энергетической системы, 2022. – 28 с. – Режим доступа: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/ups-review/2022/ups_review_0122.pdf

2. Денисов, Д.Г. Электроснабжение изолированных населенных пунктов. Возможно ли уменьшить субсидирование локальной энергетики? [Электронный ресурс]: – ЭФ ТЭК – Режим доступа: http://ef-tek.pro/remote_areas_power_supply/

3. Трутнев, Ю. Изолированные территории Дальнего Востока должны получить новую генерацию с использованием возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс] – Министерство Российской Федерации по развитию Дальнего Востока и Арктики – 2021 – Режим доступа: <https://minvr.gov.ru/press-center/news/yuriy-trutnev-izolirovannye-territorii-dalnego-vostoka-dolzhen-poluchit-novuyu-generatsiyu-s-ispolzo-32027/>

4. Огунлана, А.О. Перспективы применения гибридных установок (на основе возобновляемых источников энергии) в малой энергетике России [Электронный ресурс]: Н.Н. Горюнова, А.О. Огунлана – Томск: Томский политехнический ун-т, 2017. – 114 с. – Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/39843/1/TPU395254.pdf>

5. Гибридные электростанции на основе возобновляемых источников энергии, предназначенные для сельской электрификации [Электронный ресурс] – М.: Стандартинформ, 2016 – 54 с. – Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293762/4293762662.pdf>

6. Пеньшин, М.Д. Гибридная система энергообеспечения малой мощности [Электронный ресурс]: Д.А. Павлов, М.Д. Пеньшин – Тольятти: Тольяттинский гос. ун-т, 2018. – 84 с. Режим доступа: https://dspace.tltsu.ru/jspui/bitstream/123456789/7729/1/Пеньшин%20М.Д._ЭМСм_1602a.pdf

7. Суслов, К.В. Развитие систем электроснабжения изолированных территорий России с использованием возобновляемых источников энергии // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21, № 5. – С. 131–142. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-5-131-142 – 12 стр. – Режим доступа: http://journals.istu.edu/vestnik_irgtu/journals/2017/05/articles/12

8. Othman, M.M., Hegazy, Y.G., Abdelaziz, A.Y. Electrical energy management in unbalanced distribution networks using virtual power plant concept // Electric Power Systems Research. – 2017. – Vol. 145. – P. 157–165.

9. Arai, J., Yamazaki, S., Ishikawa, M., Ito, T. Study on a new power control of distributed generation in an isolated microgrid // IEEE Power & Energy Society General Meeting, 2009.

10. Voropai, N.I., Suslov, K.V., Sokolnikova, T.V., Styczynski, Z.A., Lombardi, P. Development of power supply to isolated territories in Russia on the bases of microgrid concept // IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2012.