

УДК 556:621.316
DOI 10.17513/use.38077

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

¹Мокаев А.Р., ^{1,2}Носков М.Ф., ¹Курленко К.П.

¹ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Саяно-Шушенский филиал, Саяногорск,
e-mail: alimmokaev777@gmail.com;

²ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет», Новосибирск

В данной статье рассматривается перспективность использования гибридных энергетических комплексов с применением ВИЭ для электроснабжения децентрализованных систем. Рассмотрены основные проблемы, которые связаны с традиционными источниками энергии, в первую очередь это конечность их ресурсов и их экологическое воздействие на окружающую среду. Приведены предпосылки для развития возобновляемых источников энергии. Приведена динамика стоимости электроэнергии от солнечных и ветряных электростанций в 2009–2020 гг., по которой видно, что удельные затраты за МВт мощности с 2009 г. уменьшились в несколько раз. Рассмотрена перспективность и эффективность использования автономных систем электроснабжения, основные функции микросистем. Представлена структурная схема гибридного энергетического комплекса, состоящего из малой ГЭС, дизельной станции и ветроустановок. В качестве объекта исследования был рассмотрен поселок Усть-Камчатск, расположенный в изолированном энергорайоне, для которого приведены основные характеристики энергоузла. Приведены результаты расчетов предполагаемой выработки гибридного энергетического комплекса, рассчитаны коэффициенты использования установленной мощности для каждого вида генерации, рассчитан объем экономии дизельного топлива за счет использования энергии возобновляемых источников. Определены основные параметры и состав гибридного энергетического комплекса для электроснабжения п. Усть-Камчатск. Приведены итоги от использования гибридных энергетических комплексов на базе ВИЭ в изолированных энергорайонах. Основной проблемой использования возобновляемых источников энергии является их непредсказуемость. Для решения данной проблемы в нынешних условиях развития науки и техники применяются литий-ионные аккумуляторы. В будущем для решения этой проблемы предлагается использовать системы накопления энергии на основе водорода.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, автономные энергетические комплексы, малая генерация, фотоэлектрическая станция, ветряная станция, распределенная генерация

THE POTENTIAL USE OF HYBRID ENERGY COMPLEXES BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES

¹Mokaev A.R., ^{1,2}Noskov M.F., ¹Kurlenko K.P.

¹Siberian Federal University, Sayano-Shushensky branch, Sayanogorsk,
e-mail: alimmokaev777@gmail.com;

²Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk

This article considers the prospects of using hybrid power complexes based on renewable energy sources for power supply of decentralised systems. The main problems connected with traditional energy sources are considered, first of all they have finite resources and their ecological impact on environment. Prerequisites for development of renewable energy sources are given. The dynamics of cost of the electric power from solar and wind electro stations in 2009–2020 is resulted, on which it is visible, that specific expenses for MW of capacity have decreased in several times since 2009. The prospects and efficiency of using autonomous power supply systems and the main functions of microsystems are considered. The structural diagram of hybrid energy complex consisting of small hydropower plant, diesel power plant and wind power plants is presented. The Ust-Kamchatsk settlement located in the isolated energy district was considered as an object of research. The basic characteristics of the power unit are given for it. The results of calculations of the presumed output of a hybrid energy complex are given, and the coefficients of use of the installed capacity for each type of generation are calculated. The volume of diesel fuel saving due to the use of renewable energy sources is also calculated. The basic parameters and structure of a hybrid power complex for power supply of Ust-Kamchatsk settlement are defined. The results, from use of hybrid power complexes on the basis of renewed energy sources in the isolated power districts are resulted. The main problem of use of renewable energy sources is their unpredictability. Lithium-ion batteries are used to solve this problem in the current development of science and technology. Hydrogen-based energy storage systems are proposed for the future to solve this problem.

Keywords: renewable energy, autonomous energy complexes, small-scale generation, photovoltaic plant, wind farm, distributed generation

На сегодняшний день основные проблемы энергетики связаны со стремительным ростом народонаселения Земли, увеличивающимся загрязнением окружающей среды, дефицитом энергии и ограниченностью

топливных ресурсов. В настоящее время в энергетической отрасли преобладает энергетика на топливной основе. Примерно 90% имеющихся видов топлива – химическое топливо на основе природных ископа-

емых. Такие ископаемые, как уголь, нефть, газ и продукты их переработки, являются исчерпаемыми, то есть могут закончиться.

Если рассматривать экологические аспекты планеты, то преобладание топливной энергетики над возобновляемыми источниками энергии негативно влияет на экологию отдельных районов и планеты в целом. Учитывая постоянное увеличение потребности в традиционных источниках энергии, можно предположить, что глобальное потепление будет все активнее. Причиной потепления является парниковый эффект. В свою очередь, парниковый эффект возникает из-за чрезмерных выбросов углекислого газа, который выбрасывается в атмосферу в конце цикла работы тепловых станций. Имеющиеся дорогостоящие очистительные сооружения на тепловых электростанциях не справляются с выбрасываемыми оксидов серы и азота. Атомные электростанции более опасны, выбрасывая около 26 т радиоактивных отходов в день. Огромную опасность атомные ЭС представляют для человечества, имея риски аварий. Все это вызывает справедливую тревогу экологов и ведет к необходимости перехода на новый технологический уровень, обеспечивающий существенно более высокие показатели эффективности. В современной энергетической системе наблюдается дефицит электроэнергии, несмотря на значительные усилия и затраты. Связано это с тем, что количество территорий с децентрализованным электроснабжением достигает порядка 63%. В Российской Федерации существует необходимость обеспечения автономного энергообеспечения для потребителей, проживающих в отдаленных районах, где отсутствуют энергосети или электроснабже-

ние непостоянно по разным причинам. Эта проблема особенно актуальна для малых городов и поселков. Организация автономного энергообеспечения является неотъемлемой частью развития таких территорий [1, с. 119–123].

Исследования показывают, что промышленные гибридные энергетические комплексы являются действенным способом перехода от традиционных источников энергии к энергосистеме с высокой долей возобновляемых источников энергии.

Гибридный энергетический комплекс (ГЭК) представляет собой сочетание установок для производства электрической энергии, включающее в себя два или более источников, объединенные в рамках единого технологического процесса [2, с. 11–17].

Стоимость электрической энергии, получаемой из Единой энергетической системы России, для многих промышленных потребителей приближается к стоимости энергоснабжения от собственных генерирующих мощностей (включая стоимость их строительства), что в том числе приводит к развитию распределенной генерации и уходу потребителей от централизованного энергоснабжения. По этой причине виден постоянный рост тарифов на электрическую и тепловую энергию, что приводит к тому, что потребители в большей мере задумываются о собственной генерации. На рис. 1 приведена динамика снижения стоимости электроэнергии, получаемой от солнечных и ветряных электростанций.

Непостоянство источников энергии (солнца и ветра) добавило «вероятностную» составляющую к выработке электрической энергии к уже имеющейся в составе спроса на электроэнергию.

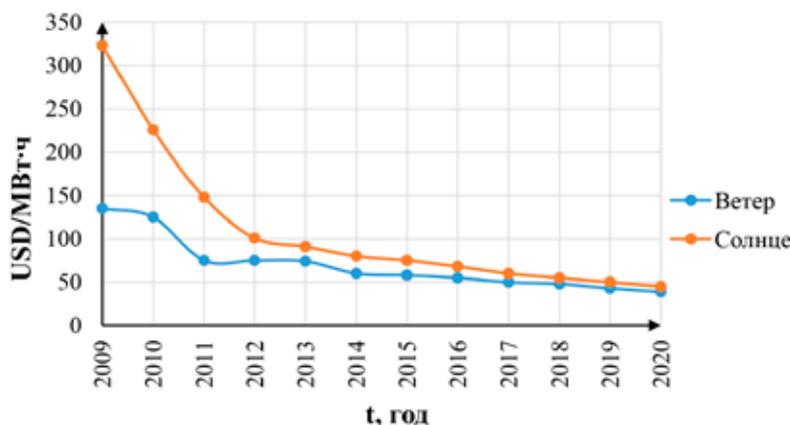


Рис. 1. Динамика приведенной стоимости электроэнергии (LCOE) от солнечных и ветряных электростанций в 2009–2020 гг., USD/MWh-ч

Учитывая то, что потребление электроэнергии является непостоянным, для обеспечения устойчивой работы энергосистемы требуется дополнительное повышение гибкости.

Гибкость энергосистемы, как показывает зарубежный опыт, может обеспечиваться газотурбинными установками, обладающими высокой маневренностью [3, с. 221–226]. Но тогда не обеспечивается нужная экологичность, так как имеются продукты распада в процессе работы данных установок. Еще одним способом, позволяющим снизить «непредсказуемую» составляющую генерации, является использование систем накопления энергии (СНЭ).

Рассматривая микроэнергосистемы как источники гибкости, можно обеспечить функции сервисов гибкости, к которым относятся:

- управление спросом;
- обеспечение аварийного и третичного резерва мощности;
- регулирование нагрузки;
- регулирование уровня напряжения и компенсация реактивной мощности.

Производство электроэнергии из возобновляемых источников энергии имеет небольшую практическую эффективную мощность со значительными колебаниями мощности и неконтролируемостью процессов. В обеспечение минимизации колебаний мощности, выравнивания графика генерации требуется координация действий с другими формами энергии, например малой ГЭС. Это способствует сокращению пиков и заполнения провалов.

Преимущества малых ГЭС выражены в том, что вырабатывается сравнительно малое, но требуемое количество электроэнергии. Гидротехнические сооружения не затрудняют в строительстве, так как чаще всего представляют собой низконапорное сооружение или деривационный канал с подводом к станционной части. Возможна полная автоматизация процесса. Сезонный характер при выработке электроэнергии, а именно заметные спады в зимний период, приводит к пользованию малой гидроэнергетики как резервной или дублирующей генерирующей мощности или составной частью энергоком-

плекса [4, с. 128–132]. Обеспечивая высокую маневренность, установки ГЭС помогут в снижении влияния непрогнозируемых колебаний графика генерации ВИЭ. После указанных мероприятий ожидается повышение энергоэффективности ГЭС при помощи генерации на ВИЭ.

Из вышеизложенного следуют тезисы о перспективах использования МГЭС:

1. Устранение энергодефицита в изолированных районах.
2. Уменьшение затрат на привозное топливо за счет его частичной замены «чистой» электроэнергией.
3. Строительство объектов в короткие сроки.

Гибридные энергетические системы в основном объединяют несколько различных источников возобновляемой энергии. Например, солнечные батареи, мини-ГЭС и другие устройства для хранения энергии предназначены для обеспечения электрической энергией различных объектов. Кроме того, в состав таких систем могут входить источники тепловой энергии, такие как биогазовые установки и солнечные тепловые коллекторы, а также источники на органическом топливе, например, дизель-генераторы, которые могут использоваться как резервное питание. Технологические конфигурации могут быть классифицированы в соответствии с видом напряжения в сети: постоянного, переменного тока или смешанные линии [5, с. 19–23].

Материалы и методы исследования

В качестве примера был рассмотрен п. Усть-Камчатск, расположенный на восточном побережье полуострова Камчатка, в устье р. Камчатка. В поселке действуют морской порт и рыбокомбинат, а также предприятия деревообрабатывающей промышленности – Усть-Камчатская лесоперевалочная база. Электроснабжение поселка производится дизельной электростанцией, которая входит в состав Усть-Камчатского района электросетей. Введена в эксплуатацию в 1974 г., в состав АО «ЮЭСК» принята в июле 2001 г. Состав генерирующего оборудования приведен в табл. 1.

Таблица 1

Генерирующее оборудование АО «ЮЭСК» п. Усть-Камчатск

| Наименование | Количество, шт. | Марка | Мощность, кВт |
|------------------|-----------------|-------------|---------------|
| Дизель-генератор | 9 | Г-72 | 800 |
| Дизель-генератор | 1 | LB8250ZLD-1 | 1000 |

Таблица 2

Основные характеристики изолированного энергоузла п. Усть-Камчатск

| | |
|--|--------|
| Численность населения, чел | 5659 |
| Максимальная мощность потребителей, кВт | 5500 |
| Минимальная мощность потребителей, кВт | 2000 |
| Установленная мощность ДЭС, кВт | 8200 |
| Установленная мощность ВЭС, кВт | 1005 |
| Годовая выработка, млн кВт·ч | 21,157 |
| Фактический расход дизельного топлива в 2022 г., т | 5179 |

Таким образом, себестоимость электрической энергии составляет 37,2 руб. за кВт·ч.

Основные характеристики изолированного энергоузла п. Усть-Камчатск приведены в табл. 2.

Результаты исследования и их обсуждение

Оптимизация параметров гибридной энергетической системы осуществляется на основе заданных критериев. Каждый из элементов системы имеет свои критерии, которые определяются при работе на определенном горизонте планирования. Этот горизонт планирования зависит от особенностей возобновляемых энергетических ресурсов, которые поступают в систему. Применение автономной гибридной генерирующей системы электроснабжения может быть очень полезным. Такая система позволяет существенно сократить использование органического топлива. Исходя

из этого, к применению предлагается схема автономной гибридной генерирующей системы электроснабжения, представленная на рис. 2.

В состав такой гибридной генерирующей системы входят:

- ветроэнергетическая установка – с установленной мощностью 1 МВт (4 шт. по 250 кВт);
- МГЭС – с установленной мощностью 2,4 МВт;
- ДГУ.

Кроме того, следует отметить, что рациональность строительства ГЭК проявляется в использовании нескольких менее мощных ВЭУ, в отличие от одной с большой мощностью. По итогу получаем упрощение процесса монтажа электростанции и повышение ее надежности, так как имеется резерв: при выходе из строя одного узла остальные части системы продолжают функционировать [6, с. 185–189].

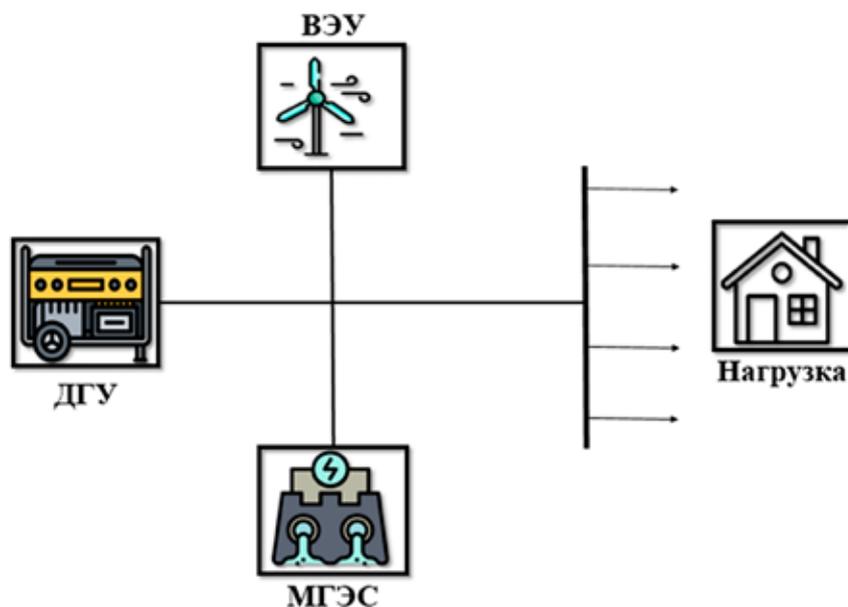


Рис. 2. Структурная схема ГЭК

Таблица 3

Результаты расчетов предполагаемой выработки электроэнергии ГЭК

| Р/П | Коэффициент сезонности, кс | Объем потребления электрической энергии, ГВт·ч | Повторяемость (%) различных градаций скорости ветра 6–7 м/с | Объем выработки ВЭУ, МВт·ч | Объем выработки МГЭС, ГВт·ч | Объем выработки ДГУ, ГВт·ч | КИУМ ВЭУ, % | КИУМ МГЭС, % | Доля замещения ДГУ, % | Объем экономии дизтоплива, т |
|----------|----------------------------|--|---|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------|--------------|-----------------------|------------------------------|
| Январь | 1 | 2,500 | 10,4 | 77,38 | 1,7856 | 0,64 | 7,7 | 100 | 74,40 | 372 |
| Февраль | 1 | 2,500 | 10,4 | 77,38 | 1,7856 | 0,64 | 7,7 | 100 | 74,40 | 372 |
| Март | 0,8 | 2,000 | 11,4 | 84,82 | 1,7856 | 0,13 | 8,5 | 100 | 93,50 | 374 |
| Апрель | 0,8 | 2,000 | 12,7 | 94,49 | 1,7856 | 0,12 | 9,4 | 100 | 94,00 | 376 |
| Май | 0,8 | 2,000 | 14,2 | 105,65 | 1,7856 | 0,11 | 10,6 | 100 | 94,50 | 378 |
| Июнь | 0,7 | 1,750 | 12,3 | 91,51 | 1,178496 | 0,48 | 9,2 | 66 | 72,57 | 254 |
| Июль | 0,7 | 1,750 | 7,8 | 58,03 | 1,178496 | 0,51 | 5,8 | 66 | 70,86 | 248 |
| Август | 0,7 | 1,750 | 8,0 | 59,52 | 1,178496 | 0,51 | 6,0 | 66 | 70,86 | 248 |
| Сентябрь | 0,9 | 2,250 | 9,6 | 71,42 | 1,7856 | 0,39 | 7,1 | 100 | 82,67 | 372 |
| Октябрь | 0,9 | 2,250 | 12,1 | 90,02 | 1,7856 | 0,37 | 9,0 | 100 | 83,56 | 376 |
| Ноябрь | 0,9 | 2,250 | 14,2 | 105,65 | 1,7856 | 0,36 | 10,6 | 100 | 84,00 | 378 |
| Декабрь | 1 | 2,500 | 10,4 | 77,38 | 1,7856 | 0,64 | 7,7 | 100 | 74,40 | 372 |
| Год | 0,85 | 25,500 | 11,1 | 993,24 | 19,606 | 4,901 | 8,3 | 100 | 80,8 | 4120 |

Факторы, влияющие на состав, параметры и режим работы ГЭК:

1. *Параметры объекта исследования*, их географическое месторасположение и климатические условия.

2. *Метеорологические факторы*, которые связаны с параметрами ВИЭ.

3. *Технические и технологические особенности энергоустановок.*

Обобщенные результаты расчетов предполагаемой выработки электроэнергии ГЭК представлены в табл. 3.

Энергоснабжение изолированных территорий требует решения важной социальной, экономической и экологической задачи – снижения себестоимости электроэнергии за счет использования надежных и экологически чистых источников генерации наряду с обеспечением бесперебойного энергоснабжения потребителей.

Зарубежный опыт показывает, что экономия органического топлива может достигать до 70% в среднем, а при благоприятных условиях становится возможным полное замещение органического топлива. Компания ЗМА из Германии, являющаяся мировым лидером в области разработки и производства оборудования для децен-

трализованного и автономного энергоснабжения, успешно протестировала гибридные автономные микросистемы совместно с институтом ЕТ (г. Кассель) в различных климатических условиях Китая, Австралии, Африки, Америки, Европы и России. Это подтверждает возможность применения таких систем в разных регионах мира. Возобновляемая энергетика имеет большой потенциал для решения проблемы энергоснабжения децентрализованных районов России [7, с. 53–63].

Таким образом, возобновляемая энергетика способна внести значительный вклад в решение важнейшей проблемы энергоснабжения децентрализованных районов России, на долю которых приходится до 70% территории страны с населением до 20 млн чел. [8, с. 26–29].

Заключение

– Снижение себестоимости электрической энергии в изолированных районах с дизельной генерацией и сокращение КИУМ ДГУ.

– Увеличение генерируемых мощностей и вырабатываемой электроэнергии в энергосистеме республики и региона, что при-

ведет к повышению надежности электро-снабжения потребителей.

– Снижение затрат на покупку электрической энергии из централизованной сети за счет производства и реализации электро-энергии.

Исходя из вышеописанного, можно сде-лать вывод о том, что реализация ГЭК в со-ставе с МГЭС имеет как экономические по-ложительные аспекты, так и социальные.

Для снятия проблемы повышенной «не-предсказуемости» и обеспечения гибко-сти в энергосистеме в будущем возможно использование СНЭ на основе водорода. На данный момент это направление мало-изучено, что вызывает его дороговизну. Ре-ализуя дополнительно в данный комплекс СНЭ, будет возможность регулирования графика нагрузки коммунальных потреби-телей, а также графика выдачи мощности с установок генерации на ВИЭ.

Список литературы

1. Василевский Н.С., Кувалдин А.Е., Жорнова О.Н., Филлиповский Н.Ф. Перспективы использования гибридных энергетических установок на территории России // Энерго-и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Екатеринбург: УрФУ, 2017. С. 119–123.
2. Дерюгина Г.В., Тягунов М.Г., Шестопалова Т.А., Юриков В.А. Гибридные энергокомплексы на основе воз-обновляемых источников энергии // Вестник КРСУ. 2012. № 10 (12). С. 11–17.
3. Жукова Е.С., Бык Ф.Л., Мышкина Л.С. Условия созда-ния гибридных микрогридов в ЕЭС России // Энергетика и энергосбережение: теория и практика Кемерово: Кузбас-ский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2020. С. 221–226.
4. Щербакова Н.С., Затева Е.Ю. Проектирование ма-лой ГЭС в составе автоматизированного гибридного энерго-комплекса // Гидроэлектростанции в XXI веке. Саяногорск; Черемушки: Саяно-Шушенский филиал Сибирского феде-рального университета, 2022. С. 128–132.
5. Кундас С.П., Шенк Ю., Вайцехович Н.Н. Гибридные технологии в использовании возобновляемых источников энергии // Альтернативная энергетика и экология. 2013. № 2. С. 19–23.
6. Амерханов Р.А., Цыганков Б.К., Бегдай С.Н., Кириченко А.С., Милованов И.В., Куличкина А.А. Перспек-тивы использования возобновляемых источников энергии // Труды КубГАУ. Краснодар. 2013. № 42. С. 185–189.
7. Carta J.A., Gonzalez J., Gomez C. Operating results of a wind-diesel system which supplies the full energy needs of an isolated village community in the Canary Islands, Solar Energy. Vol. 74, Is. 1. January 2003. P. 53–63.
8. Петров А., Гусаров В. Перспективы применения ги-бридных систем электроснабжения на базе альтернативных источников энергии // СПЕЦВЫПУСК «РОССЕТИ». 2017. МАРТ. № 1 (4). С. 26–29.