

УДК 620.9

С.В. Голубев

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫБОРА ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА БАЗЕ ВИЭ

Научно-исследовательское предприятие общего машиностроения

Повышение эффективности использования в автономных электротехнических комплексах и системах энергоустановок на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является важным направлением развития современной электроэнергетики России. Статья посвящена вопросам оптимизации затрат при выборе ВИЭ для энергообеспечения автономных объектов. Проведен анализ достоинств и недостатков использования энергоустановок на базе ВИЭ с учетом особенностей российской электроэнергетики. Установлено, что для обеспечения эффективного применения ВИЭ требуется оптимизация конфигурации энергоустановок с целью уменьшения удельной стоимости электроэнергии. Выполнен обзор и систематизированы результаты многолетних исследований потенциала ветровой и солнечной энергии на территории Российской Федерации. Определены районы России, перспективные для использования ВИЭ. Исходя из полученных результатов, сформулированы основные критерии для выбора оптимальной конфигурации энергоустановок на базе ВИЭ. Рассмотрены экономические аспекты применения ВИЭ и приведены примеры их успешного внедрения в автономные системы электроснабжения.

Ключевые слова: автономные системы электроснабжения, ветровая энергетическая установка, возобновляемые источники энергии, критерии выбора, солнечная электростанция.

1. Введение

В последние десятилетия во многих странах действовали государственные программы развития технологий возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1], что определило международный тренд развития систем электроснабжения нового поколения. В РФ также существуют законодательные акты, направленные на повышение энергетической эффективности [2], что позволяет не только перенимать опыт зарубежных коллег, но и развивать собственные технологии и схемотехнические решения.

Сегодня в России ВИЭ активно используется для автономного электроснабжения удаленных объектов, расположенных в районах с неразвитой электросетевой инфраструктурой и в условиях минимального технического обслуживания. Накладываемые ограничения требуют использования наиболее энергоэффективных и экономичных решений.

Несмотря на достаточно высокий уровень интереса к использованию ВИЭ, среди специалистов постоянно возникают споры об эффективности и целесообразности развития данного направления. Причинами этих разногласий являются относительно невысокий уровень энергоотдачи и высокая стоимость энергоустановок на базе ВИЭ.

Вышеуказанные разногласия являются объективным поводом для проведения анализа достоинств и недостатков ВИЭ, определения оптимальных технических решений и сфер применения энергоустановок на базе ВИЭ.

II. Цель и задачи исследования

Целью данного исследования является определение основных критериев выбора элементной базы энергоустановок на базе ВИЭ. Для этого, в первую очередь, требуется оценить преимущества и недостатки систем электроснабжения на основе ВИЭ. Необходимо определить регионы России с высоким потенциалом применения энергоустановок на базе ВИЭ, рассмотреть возможность комбинации нескольких типов ВИЭ и выбрать оптимальную элементную базу энергоустановок для конкретного района. Далее, следует сформулировать критерии выбора типа и производительности силового оборудования энергоустановок на базе ВИЭ, и в заключение – проанализировать экономические аспекты применения энергоустановок на базе ВИЭ.

III. Анализ достоинств и недостатков энергоустановок на базе ВИЭ

Выделим достоинства энергоустановок на базе ВИЭ:

- высокий уровень автономности (для выработки энергии не требуется топлива, т. к. источником является энергия солнца, ветра, потока газа);
- на территории РФ значительная часть регионов обладает достаточным ветровым или солнечным потенциалом для использования ВИЭ;
- современное состояние дел и темпы развития технологий уже сегодня обеспечивают достаточно высокий уровень и постоянный рост эффективности использования потенциала ВИЭ;
- современное оборудование электростанций и энергоустановок на базе ВИЭ имеет значительный срок службы (от 20 лет и выше) и достаточно высокий уровень надежности;
- наличие накопителя электроэнергии (аккумуляторных батарей) позволяет обеспечить покрытие кратковременных пиковых нагрузок (в 5-7 раз превышающих номинальные) без увеличения капитальных затрат;
- энергоустановки на базе ВИЭ характеризуются низким уровнем эксплуатационных затрат с периодичностью технического обслуживания не чаще одного раза в год;

- современный уровень автоматизации энергоустановок на базе ВИЭ реально позволяет обеспечить их функционирование по безлюдной технологии с осуществлением полномасштабного дистанционного контроля за техническим состоянием всех элементов энергоустановки;
- высокий уровень экологичности энергоустановок на базе ВИЭ.

Наряду с достоинствами ВИЭ имеют и ряд существенных недостатков:

- относительно высокая стоимость энергоустановок на базе ВИЭ за счет стоимости некоторых комплектующих (например – стоимость аккумуляторных батарей для накопления энергии может достигать до 50-60% от стоимости и объема всей энергоустановки);
- значительная удельная площадь солнечных панелей (1 м² на 150-200 Вт), при этом наблюдается тенденция к улучшению показателя;
- зависимость выработки энергии от времени суток и сезонов года;
- длительный срок окупаемости (реальный срок окупаемости только «на тарифе» составляет 12-15 лет).

Анализ вышеприведенной информации позволяет сделать вывод, что ВИЭ может использоваться для электроснабжения удаленных и автономных объектов, однако требуется правильно выбрать конфигурацию энергоустановки для уменьшения удельной стоимости электроэнергии и минимизации фактора стохастического режима работы.

IV. Анализ потенциала использования энергоустановки на базе ВИЭ в зависимости от района эксплуатации

Для выбора комплектности энергоустановки необходимо проанализировать ветровой и солнечный потенциал места установки. Известно, что на территории РФ значительная часть регионов обладает достаточным ветровым или солнечным потенциалом для использования ВИЭ [3,4]. До 65% территории России характеризуется средним и высоким уровнем ветровой активности (рис. 1), в том числе:

- 45% территории со среднегодовой скоростью ветра 3,5-5,0 м/с;
- 20% территории со среднегодовой скоростью ветра более 5,0 м/с.

До 65% территории России характеризуется средним и высоким уровнем солнечной активности (рис. 2), в том числе:

- 40% территории с уровнем солнечной радиации 3,5-4,5 кВт.ч/м² в сутки;
- 25% территории с уровнем солнечной радиации более 4,5 кВт.ч/м² в сутки.

Если посмотреть на карты ветровой и солнечной активности России, то можно сделать следующие выводы:

- стабильная ветровая активность присутствует на побережье всех морей и в степных районах;

- стабильная солнечная активность (мало зависящая от времени года) имеется в южных районах страны и в Якутии;
- самым неперспективным для применения энергоустановок на базе ВИЭ считаются северо-западные районы России (не считая побережья Финского залива и Балтийского моря); здесь на относительно большое количество пасмурных и безветренных дней накладывается наличие централизованных электрических сетей, что склоняет «чашу весов» в пользу последних.



Рис. 1. Карта ветровой активности на территории РФ



Рис. 2. Карта солнечной активности на территории РФ

Наложение карт районов ветровой и солнечной активности показывает, что более 90% территории России имеет достаточный потенциал для использования возобновляемых источников энергии (рис. 3):

- практически идеальное сочетание ветровой и солнечной активности обеспечивается на побережье южных морей и в южных степях;
- хорошее сезонное сочетание ветровой и солнечной активности присутствует в районах северной тундры (летом – круглосуточный полярный день, зимой – ветра, метели, весной и осенью – дневная солнечная активность и ветра);
- в районах средней полосы имеется неплохой уровень солнечной активности в весенне-летний период и периодическая ветровая активность среднего уровня.



Рис. 3. Наложение карт районов ветровой и солнечной активности

Диаграммы сезонных и суточных периодов ветровой (рис. 4) и солнечной (рис. 5) активности показывают, что во многих случаях максимальная эффективность ВИЭ может достигаться при совместном использовании ветрогенераторов и солнечных модулей.

Анализ карт районов ветровой и солнечной активности, а также диаграмм сезонных и суточных периодов эффективности работы ветро-солнечных модулей позволил сделать следующие выводы.

1. Энергоустановки на базе возобновляемых источников энергии без резервных топливо-потребляющих источников или внешней сети могут обеспечить категорию надежности электроснабжения потребителей не выше третьей с достаточно частыми и длительными перерывами питания.

2. В энергоустановках на базе ВИЭ без резервных источников потенциально присутствует вероятность преждевременной потери емкости аккумуляторов из-за продолжительных периодов неполного заряда.

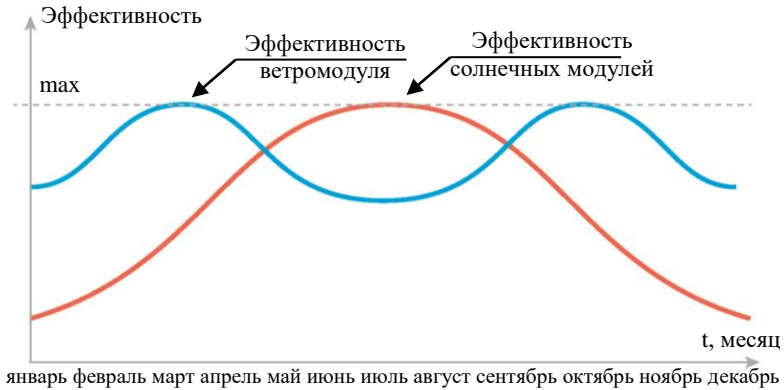


Рис. 4. Диаграмма сезонных периодов эффективности работы ветро-солнечных модулей в течение года (усреднено для средней полосы России)

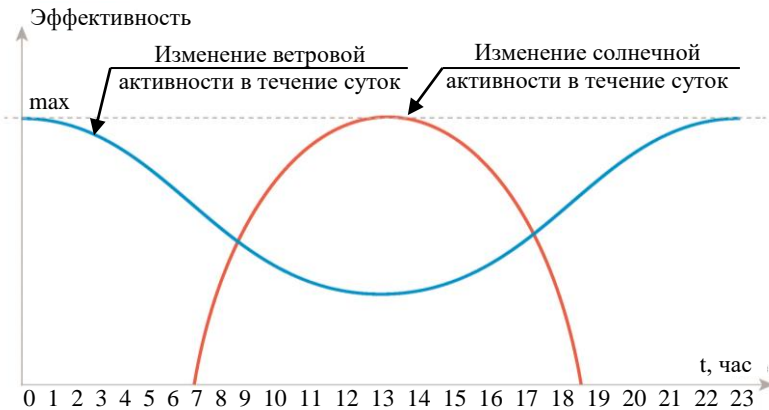


Рис. 5. Диаграмма периодов эффективности работы ветро-солнечных модулей в течение суток

3. Увеличение количества солнечных панелей, ветрогенераторов, емкости аккумуляторных батарей в составе энергоустановок значительно увеличивают капитальные затраты и срок окупаемости, но не повышает уровень надежности электроснабжения потребителей.

4. Автономные энергоустановки на базе ВИЭ (не имеющие силовой связи с внешней сетью) должны иметь в своем составе резервный

источник электроэнергии, независимый от ветровой и солнечной активности в месте размещения.

5. В составе автономных энергоустановок, возобновляемые источники энергии и резервный источник взаимно дополняют друг друга и обеспечивают оптимальный режим функционирования энергоустановки в целом, а именно:

- значительно повышается коэффициент использования и снижается расход топлива, т.к. время работы резервного (топливо-потребляющего) источника составляет не более 20% от общего времени работы энергоустановки;
- по этой же причине снижается общее количество выбросов и повышается экологичность энергоустановок на базе ВИЭ (по сравнению с энергоустановками на базе топливо-потребляющих источников);
- при использовании в качестве резервных источников дизель-генераторных и газопоршневых агрегатов, значительно улучшается показатель удельной стоимости на 1 кВт установленной мощности энергоустановки, так как стоимость этих резервных источников составляет не более 10% от общей стоимости изделия;
- при использовании резервных источников на базе термо-электрических генераторов (ТЭГ), значительно увеличивается КПД энергоустановки в целом, т. к. КПД базовых источников на базе ВИЭ в 4-5 раз выше, чем у ТЭГ (при этом частично снижается стоимость комбинированной энергоустановки по сравнению с энергоустановкой на базе ТЭГ).

6. Автономные энергоустановки на базе возобновляемых источников энергии с резервными источниками обеспечивают уровень надежности электроснабжения потребителей на уровне первой категории, а при наличии комплекта ИБП – на уровне особой группы ОГ-1.

7. Учитывая значительный срок окупаемости энергоустановок на базе ВИЭ за счет экономии «на тарифе», решение о целесообразности применения таких энергоустановок необходимо принимать по результатам сравнения капитальных затрат на альтернативные варианты организации энергообеспечения объекта.

V. Критерии выбора типа и производительности силового оборудования энергоустановок на базе ВИЭ

Исходя из выводов предыдущего раздела, можно сформулировать основные критерии выбора элементов энергоустановок на базе ВИЭ.

Основные критерии выбора типа и производительности солнечных модулей:

- монокристаллические панели целесообразно применять в районе с преобладанием ясных солнечных дней;

- поликристаллические панели целесообразно применять в районах с преобладанием рассеянного солнечного света (высокая облачность);
- для районов с уровнем солнечной радиации $2,5 - 3,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в день производительность солнечного модуля следует выбирать из расчета $4,0-4,5 \text{ кВт}$ на 1 кВт среднесуточной потребляемой мощности;
- для районов с уровнем солнечной радиации $3,5 - 4,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в день производительность солнечного модуля следует выбирать из расчета $3,0-3,5 \text{ кВт}$ на 1 кВт среднесуточной потребляемой мощности;
- для районов с уровнем солнечной радиации более $4,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в день производительность солнечного модуля следует выбирать из расчета $2,0-2,5 \text{ кВт}$ на 1 кВт среднесуточной потребляемой мощности.

Основные критерии выбора типа и производительности ветрогенераторов:

- технические характеристики ветрогенераторов (горизонтально-осевые, вертикально-осевые, роторные) мало отличаются друг от друга. АО «НИПОМ» сделал выбор в пользу вертикально-осевых безредукторных ветрогенераторов из – за оптимального сочетания цены и надежности;
- использование ветрогенераторов в качестве базового источника целесообразно в районах со среднегодовой скоростью ветра от $7,0 \text{ м/с}$ и более. Производительность ветрогенераторов для таких районов рекомендуется выбирать из расчета $1,5-2,0 \text{ кВт}$ на $1,0 \text{ кВт}$ среднесуточной потребляемой мощности;
- использование ветрогенераторов в районах со среднегодовой скоростью ветра $4,0-7,0 \text{ м/с}$ целесообразно в качестве вспомогательного источника для дополнительной выработки энергии. Производительность ветрогенераторов для таких районов рекомендуется выбирать из расчета $0,5-1,0 \text{ кВт}$ на $1,0 \text{ кВт}$ среднесуточной потребляемой мощности;
- использование ветрогенераторов в районах со среднегодовой скоростью ветра менее $4,0 \text{ м/с}$ нецелесообразно;
- при размещении ветрогенераторов необходимо учитывать наличие естественных или искусственных препятствий (горы, лес, здания и др.);
- оптимальная высота мачты для ветрогенераторов мощностью до $10,0 \text{ кВт}$ – до $18-20 \text{ м}$.

Основные критерии выбора типа и емкости аккумуляторных батарей:

- учитывая циклический режим работы, для накопителей целесообразно применять литий-ионные аккумуляторные батареи с допустимой глубиной разряда $80-90\%$;
- рекомендуемое напряжение АБ: $= 24 \text{ В}$ для среднесуточной нагрузки до $1,0 \text{ кВт}$; $= 48 \text{ В}$ для среднесуточной нагрузки до $2,5 \text{ кВт}$; $= 220 \text{ В}$ для среднесуточной нагрузки $3,0 \text{ кВт}$ и более;

- эффективный запас энергии в накопителе (при допустимой глубине разряда АБ 80%) должен составлять 18-20 кВт·ч на 1,0 кВт среднесуточной потребляемой мощности.

Основные критерии выбора типа и мощности вспомогательных энергоисточников:

- как правило, в качестве вспомогательного источника энергии для энергоустановок на базе ВИЭ используют ДГА с соответствующим запасом топлива и межрегламентным периодом;
- при наличии источника централизованного газоснабжения, целесообразно применять газопоршневые или газовые микротурбинные агрегаты с соответствующим межрегламентным периодом;
- мощность вспомогательного источника должна определяться из расчета 2,2-2,5 кВт на 1,0 кВт среднесуточной потребляемой мощности.
- Основные критерии выбора типа и мощности инвертора:
- для энергоустановок на базе ВИЭ целесообразно применять модульные инверторы со степенью резервирования не менее $N + 2$;
- рабочая мощность инвертора (без учета резервных модулей) должна соответствовать максимальным кратковременным пиковым нагрузкам, на которые рассчитывается энергоустановки на базе ВИЭ.

VI. Экономические аспекты применения энергоустановок на базе ВИЭ

Удельная стоимость промышленных энергоустановок на базе ВИЭ составляет в среднем около 3,0 млн рублей за 1,0 кВт среднесуточной мощности (в том числе 50-60% составляет стоимость накопителей). Стоимостные показатели энергоустановок на базе ВИЭ конкурируют с энергоустановками на базе ТЭГ, ЭХГ, турбоальтернаторов, СПДС. Реальный срок окупаемости вышеуказанных установок «на тарифе» составляет 12-15 лет.

Удельные показатели блочно-комплектных энергоустановок на базе традиционных источников (ДГА, ГПЭГ, микротурбин) составляют 0,5-1,0 млн руб. за 1,0 кВт номинальной мощности с учетом категории надежности энергоустановки, при сроке окупаемости «на тарифе» 4-5 лет. Сравнение стоимостей энергоустановок в диапазоне мощностей до 5,0 кВт показало, что энергоустановки на базе ВИЭ, ЭХГ, ТЭГ успешно конкурируют с энергоустановками на базе традиционных источников, при этом показатели технической эффективности и экологичности у энергоустановок на базе ВИЭ значительно выше. Сравнение показателей по «приведенным затратам» для энергоустановок мощностью до 5,0 кВт во многих случаях также склоняется в пользу энергоустановок на базе ВИЭ.

VII. Заключение

На основании вышеизложенного энергоустановки на базе ВИЭ могут найти применение и эффективно использоваться для энергообеспечения целого ряда технологических и вспомогательных объектов:

- энергоустановки на базе ВИЭ мощностью до 1,0 кВт – энергообеспечение локальных станций геомониторинга, локальных систем контроля загазованности, систем антикоррозионного мониторинга, КПТМ на УЗПОУ, отдельно стоящих импульсных СКЗ, светоограждения опор ЛЭП, освещение вертолетных площадок;
- энергоустановки на базе ВИЭ мощностью 2,0-5,0 кВт – энергообеспечение линейных объектов магистральных и распределительных газопроводов (крановые узлы, КПТМ, СКЗ, объекты связи, КИТСО, УЗПОУ, небольшие ГРС) и отдельные газовые скважины;
- энергоустановки на базе ВИЭ мощностью 5,0-10,0 кВт – энергообеспечение ГРС, КРП, УРГ, УЗРГ, объектов связи, кустов газовых скважин.

АО «НИПОМ» с 2014 года ведет активную работу в области создания комплектных энергоустановок БКЭУ-ВСМ на базе ВИЭ, альтернативных и традиционных источников энергии.

Необходимо отметить, что в августе 2015 года в ООО «Газпром трансгаз Москва» на площадке КРП-16 была завершена опытно-промышленная эксплуатация и проведены приемочные испытания головного образца блочно-комплектной энергоустановки серии БКЭУ-ВСМ с резервным дизель-генераторным агрегатом и буферно-накопительной аккумуляторной батареей с запасом энергии 20 кВт·ч (рис. 6). По состоянию на конец октября 2016 года, выработка электроэнергии составила более 5 500 кВт·ч электроэнергии, что подтверждает возможность и целесообразность применения энергоустановок на базе возобновляемых источников энергии даже в районах со средним уровнем ветровой и солнечной активности.

В настоящее время, специалистами ОАО «НИПОМ» разработаны и освоено производство целого ряда модификаций блочно-комплектных энергоустановок серии БКЭУ-ВСМ различного назначения.



Рис. 6. Головной образец контейнерной энергоустановки БКЭУ-ВСМ/ДГА на площадке КРП-16 в ООО «Газпром трансгаз Москва»

© Голубев С.В., 2018

Библиографический список

- [1] О перспективах использования на объектах ПАО «Газпром» автономных энергоустановок отечественных производителей // Газовая промышленность. 2016. № 2 (734). С. 14-15.
- [2] Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
- [3] Солнечные ресурсы // ГИС ВИЭ [Электронный ресурс]. URL: <http://gisre.ru/maps/sun-radiation> (дата обращения 25.07.2018).
- [4] Ветровые ресурсы // ГИС ВИЭ [Электронный ресурс]. URL: <http://gisre.ru/maps/wind-data> (дата обращения 25.07.2018).
- [5] Методика оценки эффективности и выбора оптимальной модификации автономных энергетических установок серии БКЭУ-ВСМ производства ОАО «НИПОМ» на базе ветро-солнечных модулей, внутренний документ ОАО «НИПОМ», Дзержинск, 2015. С. 6-11.
- [6] Программа расчета необходимой производительности ветрогенераторных установок и солнечных модулей для выбора оптимальной комплектации ветро-солнечных энергоустановок компании «Фабрика тока» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fabrikatoka.ru/pages/sun.php/> (дата обращения 29.07.2018).

S.V. Golubev

TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF CHOOSING POWER PLANTS BASED ON RES

Joint Stock Company «Scientific and Research Company
of General Machine-Building», Dzerzhinsk, Russia

Abstract. Improving the efficiency of use in autonomous electrical systems and power plant systems based on renewable energy sources (RES) is an important direction in the development of modern power industry in Russia. The article is devoted to the issues of cost optimization when choosing RES for energy supply of autonomous objects. The analysis of the advantages and disadvantages of the use of power plants based on RES, taking into account the peculiarities of the Russian power industry is performed. It has been established that optimization of the configuration of power plants is required in order to reduce the specific cost of electricity to ensure the effective use of RES. A review and systematized the results of many years of research into the potential of wind and solar energy in the territory of the Russian Federation are made. Areas of Russia promising for the use of renewable energy are identified. Based on the obtained results, the main criteria for selecting the optimal configuration of power plants based on RES are formulated. The economic aspects of the use of RES are considered and examples of their successful implementation in autonomous power supply systems are given.

Key words: autonomous power supply systems, renewable energy sources, selection criteria, solar power station, wind power plant.

References

- [1] «On the prospects for the use of autonomous power plants of domestic producers at the facilities of PJSC Gazprom», Gas industry, vol. 734, no. 2, pp. 14-15, 2016.
- [2] Federal Law as of November 23, 2009 No. 261-FZ (revised on July 13, 2015) «On energy saving and improvement of energy efficiency and on making amendments to certain legislative acts of the Russian Federation».
- [3] Sun radiation. [Online]. Available at: <http://gisre.ru/maps/sun-radiation> [Accessed: July 25, 2018].
- [4] Wind data [Online]. Available at: <http://gisre.ru/maps/wind-data> [Accessed: July 25, 2018].
- [5] Method for assessing the efficiency and selecting optimal configuration of autonomous power supply plants of series BKEU – VSM (Modular Packaged Power Supply Plants Powered by Wind and Solar Modules) manufactured by NIPOM, JSC powered by wind and solar modules, NIPOM, JSC's internal document, Dzerzhinsk, 2015, pp. 6-11.
- [6] Program for calculating the required capacity of wind power generator plants and solar modules to select the best configuration of wind and solar power supply plants of Fabrika Toka company. [Online]. Available at: <http://www.fabrikatoka.ru/pages/sun.php/>. [Accessed: July 29, 2018].