



**Мирошниченко А. А., Кулганатов А. З., Гордиевский Е. М., Ковалёв А. А., Соломин Е. В.
A. A. Miroshnichenko, A. Z. Kulganatov, E. M. Gordievsky, A. A. Kovalyov, E. V. Solomin**

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИБРИДНЫХ ВЕТРО-СОЛНЕЧНЫХ УСТАНОВОК
ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ РОССИИ**

**PROSPECTS FOR THE USE OF HYBRID WIND-SOLAR INSTALLATIONS
FOR THE POWER SUPPLY OF AUTONOMOUS CONSUMERS IN RUSSIA**

Мирошниченко Алексей Александрович – магистрант кафедры электрических станций сети и систем электроснабжения Южно-Уральского государственного университета (НИУ) (Россия, Челябинск); 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76. E-mail: alex.miroshnichenko@mail.ru.

Mr. Alexey A. Miroshnichenko – a master's degree student, Electric Power Generation and Supply department, South Ural State University (Russia, Chelyabinsk); 454080, Chelyabinsk, 76 Lenin str. E-mail: alex.miroshnichenko@mail.ru.

Кулганатов Аскар Зайдакбаевич – студент кафедры теоретических основ электротехники Южно-Уральского государственного университета (НИУ) (Россия, Челябинск); 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76. E-mail: kulganatov97@gmail.com.

Mr. Askar Z. Kulganatov – student, Theoretical Basics of Electrical Engineering department, South Ural State University (Russia, Chelyabinsk); 454080, Chelyabinsk, 76 Lenin str. E-mail: kulganatov97@gmail.com.

Гордиевский Евгений Михайлович – магистрант кафедры электрических станций сети и систем электроснабжения Южно-Уральского государственного университета (НИУ) (Россия, Челябинск); 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76. E-mail: gordievskiy@gmail.com.

Mr. Evgeny M. Gordievsky – a master's degree student, Electric Power Generation and Supply department, South Ural State University (Russia, Chelyabinsk); 454080, Chelyabinsk, 76 Lenin str. E-mail: gordievskiy@gmail.com.

Ковалёв Антон Александрович – магистрант кафедры электрических станций сети и систем электроснабжения Южно-Уральского государственного университета (НИУ) (Россия, Челябинск); 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76. E-mail: alpenglowl305@yandex.ru.

Mr. Anton A. Kovalyov – a master's degree student, Electric Power Generation and Supply department, South Ural State University (Russia, Chelyabinsk); 454080, Chelyabinsk, 76 Lenin str. E-mail: alpenglowl305@yandex.ru.

Соломин Евгений Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры электрических станций сети и систем электроснабжения Южно-Уральского государственного университета (НИУ) (Россия, Челябинск); 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76. E-mail: nii-uralmet@mail.ru.

Mr. Evgeny V. Solomin – doctor of Technical Sciences, professor, Electric Power Generation and Supply department, South Ural State University (Russia, Chelyabinsk); 454080, Chelyabinsk, 76 Lenin str. E-mail: nii-uralmet@mail.ru.

Аннотация. В статье рассмотрены перспективы использования комбинированных установок, работа которых основана на преобразовании энергии ветра и солнца. Приведена классификация, охватывающая три группы данных установок: автономные ветро-солнечные электростанции, установки для резервного энергообеспечения, сетевые ветро-солнечные электростанции. Авторы статьи детально проанализировали возможность использования комбинированных установок в таких важных отраслях национального хозяйства, как нефтегазовый сектор и сельское хозяйство. Результаты анализа применения комбинированных установок в нефтегазовом секторе показали, что сегодня их применение возможно только с целью энергоснабжения маломощных потребителей, которые являются вспомогательными для основного добывающего оборудования. В сельском хозяйстве возможность применения гибридных ветро-солнечных установок считается перспективной задачей, так как электроприёмники, находящиеся в сельской местности, как правило, являются маломощными и использование ветро-солнечной энергии для их электроснабжения, по сравнению с применением традиционной энергетики, является более целесообразным вариантом. Описана возможность применения мобильных гибридных установок.

Summary. In article the prospects of use of the combined installations which work is based on transformation of wind power and the sun are considered. Classification of these installations on three groups is given: autonomous vetro-solar power stations, installations for reserve power supply, network vetro-solar power stations. Authors of article in details analysed a possibility of use of the combined installations in such important industries of national economy as oil and gas the sector and agriculture. Results of the analysis of application of the combined installations in the oil and gas sector, showed that today application is possible only for power supply of low-power consumers who are auxiliary for the capital extracting equipment. In agriculture application hybrid the vetrosolnechnykh of installations, is considered a perspective task since the electroreceivers which are in rural areas as a rule are low-power, and use of vetrosonechny energy for their power supply, in comparison with application of traditional power is more expedient option. Also in article the possibility of application of mobile hybrid installations is described.

Ключевые слова: ветроэнергетика, солнечная энергетика, гибридные установки, автономные потребители.

Key words: wind power, solar power, hybrid installations, independent consumers.

УДК: 62

Введение

Стабильное и качественное энергообеспечение является одним из основных факторов социального и экономического развития. Глобальный спрос на ископаемые ресурсы постоянно растёт, что обусловлено, в первую очередь, высокими темпами экономического роста ряда развивающихся стран, к тому же запасы традиционных источников энергии истощаются, существующие ресурсы нередко расположены в немногочисленных, часто политически нестабильных регионах. Зачастую это сводится к возникновению политических конфликтов, учащению вооружённых столкновений, влекущих за собой значительный экономический риск для стран, зависящих от данных ресурсов. К тому же цены на такие ресурсы постоянно увеличиваются. Например, около 70 % мировых запасов нефти и газа находится на Ближнем и Среднем Востоке, а также в районе Каспийского моря [2].

Применение возобновляемых источников энергии позволит решить проблему, связанную с ухудшением общемировой климатической ситуации. Энергию солнца, ветра, подземного тепла, течения рек можно считать неисчерпаемой, и, несомненно, человечество будет более активно использовать её в будущем [8].

Ещё одной проблемой, особенно острой в России, является проблема энергоснабжения удалённых и децентрализованных потребителей. Располагая огромной территорией, централизованное электроснабжение задействовано только на 30 % площади страны. Территории Дальнего Востока, Сибири являются малонаселёнными, с рассредоточенными населёнными пунктами и неблагоприятными погодными условиями. В течение последних 25 лет продолжается отток населения из таких регионов. Неблагоприятным фактором стало упразднение более 10 тыс. поселений в России за последние 10 лет. Одни из основных причин такого положения – отсутствие надёжного энергоснабжения, удорожание органического топлива и его транспортировки к потребителю.

В условиях Российской Федерации в ближайшие 20–25 лет из-за особых климатических и географических особенностей (низкие температуры и протяжённые территории) и наличия больших запасов углеводородного топлива будет нецелесообразно строить крупные энергетические комплексы на возобновляемых источниках энергии. Но это не значит, что нашей стране нужно полностью отказываться от зелёной энергетики. Напротив, стратегически важным является внедрение ВИЭ там, где необходимо сохранить и приумножить сельское население, повысить привлекательность удалённых регионов наличием надёжной и своевременной энергии [14].

Установки, использующие только один источник чистой энергии, например ветер или солнце, целесообразно применять только в местах, где в значительной мере преобладает тот или иной источник. Но отсутствие солнца или ветра в первом или во втором случае может привести к перебоям в энергообеспечении. Решить данную проблему можно с помощью гибридных (комбинированных) систем.

В настоящее время эксплуатируются ветро-дизельные, ветро-солнечные, дизель-ветро-солнечные установки, в которых применяются два или три возобновляемых источника (иногда их называют дуплекс- и трио-системами). Теоретически возможно использование и большего числа источников исходя из условий местных возможностей (квадро (четырёх), пента (пяти), секстет (пяти)) [1]. Авторами статьи рассмотрены ветро-солнечные установки ввиду сравнительно простого анализа относительно более сложных систем.

При разработке гибридной установки ключевой задачей является выбор соотношения мощностей ветряной и солнечной установок. В зависимости от месячной генерации электрической энергии в определённых условиях от того или иного источника можно определить, какой источник в комбинированной установке будет использоваться в качестве основного, а какой – в качестве вспомогательного; какое соотношение установленной мощности будет приходиться на тот или иной источник. Заметим, что при работе нескольких источников с одним блоком управления и преобразования энергии относительная стоимость электростанции в целом может быть снижена и, как следствие, снизится удельная стоимость одного кВт·ч электрической энергии.

Стоит обратить внимание на три основные величины, являющиеся ключевыми при выборе генерирующих компонентов комбинированной установки:

1. Выходная мощность определяется только мощностью преобразователя (инвертора) и не зависит от скорости ветра и освещённости солнечных и аккумуляторных батарей.

2. Время непрерывной работы при отсутствии энергии ветра или солнца определяется только ёмкостью батарей аккумуляторов и зависит от характера и величины нагрузки, режимов работы. Например, при использовании четырёх полностью заряженных батарей ёмкостью 200 А·ч каждая возможно запасти 7...8 кВт·ч электрической энергии, что при постоянной нагрузке в 1 кВт обеспечивает непрерывную работу на время 7...8 ч.

3. Выработка электрической энергии определяется реальным ветровым потенциалом, рельефом местности, высотой мачты ветрогенератора, солнечной обеспеченностью, расположением солнечных батарей и обычно указывается за усреднённый временной промежуток, к примеру месяц, так как дневная или особенно часовая выработка будет носить случайный характер.

Основной недостаток ветро-солнечной генерации – непостоянство в выработке в течение суток одним из источников. На сегодняшний день известны методики для достаточно точного расчёта повторяемости ветра и солнца в течение дня, месяца, года и нескольких лет. Например, для расчёта вероятности появления ветра можно пользоваться методиками Вейбулла и Рэля [15]. Существуют также базовые принципы в определении активности солнца или ветра. В ясную и солнечную погоду, особенно летом, когда ветер стихает, происходит усиление выработки электроэнергии от солнечных батарей. В пасмурную погоду, вечером или ночью, в период отсутствия солнца или в холодные месяцы, воздух имеет более высокую плотность и основным источником в выработке энергии будет являться ветрогенератор, то есть солнечная и ветровая энергия находится в противофазе [3]. Следовательно, энергия, вырабатываемая комбинированными системами, представляет собой более равномерные потоки по сравнению с чистыми ветровыми или солнечными.

На рис. 1 изображён график совместного получения энергии от ветра и солнца.

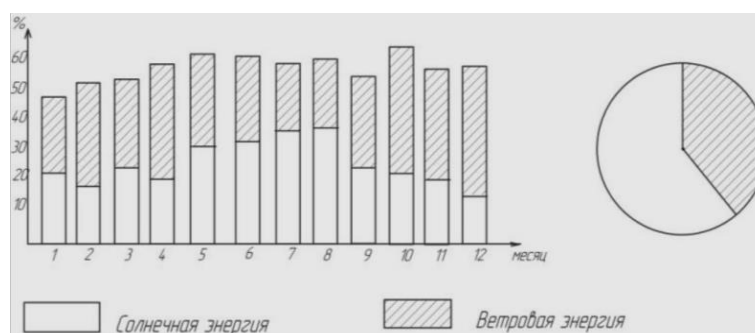


Рис. 1. График совместного получения энергии от ветра и солнца

В то время когда отсутствуют благоприятные условия для выработки энергии от ВИЭ (пасмурная безветренная погода, безветренная ночь), питание потребителей можно осуществить от аккумуляторных батарей либо от дизельного генератора. Когда одновременно имеются в избытке и солнце, и ветер, вырабатываемая излишняя (непотреблённая нагрузкой) электроэнергия будет запасаться в аккумуляторных батареях для дальнейшего использования при дефиците мощности при неблагоприятных погодных условиях [12].

Одна из основных составляющих затрат – стоимость удельной мощности оборудования возобновляемых источников энергии, которая влияет на цену оборудования в целом.

Состояние и потенциальное изменение установленной мощности, текущей и ожидаемой цены энергии от ВИЭ по данным на конец 2017 года отражены в табл. 1.

Таблица 1

Состояние и потенциальное изменение установленной мощности, текущей и ожидаемой цены энергии от ВИЭ

Вид ВЭУ	Уровень мощности и её рост за 5 лет (% в год)	Удельная стоимость установленной мощности (\$/кВт)	Текущая стоимость энергии новых систем (ц/кВт·ч)	Ожидаемая стоимость в будущем (ц/кВт·ч)
Ветроэнергетические установки	539 ГВт/48 %	1100...1700	5...13	3...10
Солнечные электростанции	402 ГВт/75 %	5000...10 000	25...125	5...25
Солнечные тепловые установки	4,9 ГВт/49 %	3000...4000	12...18	4...10

Классификация комбинированных установок

Комбинированные системы электроснабжения обычно подразделяют на три типа:

1. Автономные ветро-солнечные электростанции (ВСЭ). Данные установки работают при отсутствии подключения к единой сети, содержат в себе солнечную фотоэлектрическую установку (СФЭУ), ветроэнергетическую установку (ВЭУ) и батареи аккумуляторов (АБ). Такие автономные электростанции могут дополнительно содержать бензиновые или дизельные генераторы для работы на объектах с высокой надёжностью электроснабжения [5].

Такие установки могут использоваться на дачах с круглогодичным проживанием, в автономных домах, изолированных торговых точках, удалённых объектах организаций, фермерских хозяйств, теплицах, складах, производственных участках, пунктах охраны, объектах телекоммуникаций и т. д. В данном случае подключение объекта к единой сети является дорогостоящим или мероприятием, невозможным в принципе.

Схема такой установки представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема комбинированной установки для использования в домах с круглогодичным проживанием

2. Сетевая ветро-солнечная электростанция. Данные комбинированные установки работают параллельно с внешней энергосистемой. В основном режиме работы потребители получают электроэнергию от возобновляемых источников, а при её недостатке – от внешней сети; при излишках энергия подаётся в сеть. При таком режиме работы аккумуляторные батареи и генераторы на жидком топливе обычно не используются. Такую систему удобно использовать, когда у потребителя имеются пики потребления энергии. В таком случае нет необходимости производить расчёты мощности ветроустановки и солнечных батарей на пиковые нагрузки, ведь её можно будет покрыть из сети. В данном случае возможно снижение платежей за электрическую энергию.

3. Установки для резервного энергообеспечения. В данном случае в основном режиме работы внешняя электросеть служит основным источником питания для потребителей. При отсутствии энергии от единой сети, например в случае аварии или при недостатке выделенных мощностей, источником питания могут служить аккумуляторные батареи, питаемые от ветро-солнечных установок либо генераторов на жидком топливе.

Рассмотрим использование гибридных установок для электроснабжения ответственных потребителей (на примере объектов нефтегазовой инфраструктуры) и менее ответственных (на примере объектов сельского хозяйства).

Комбинированные установки для нефтегазового сектора

Одним из самых распространённых объектов автономной инфраструктуры является нефтегазовый сектор. Месторождения чаще всего расположены в значительном удалении от существующих сетей.

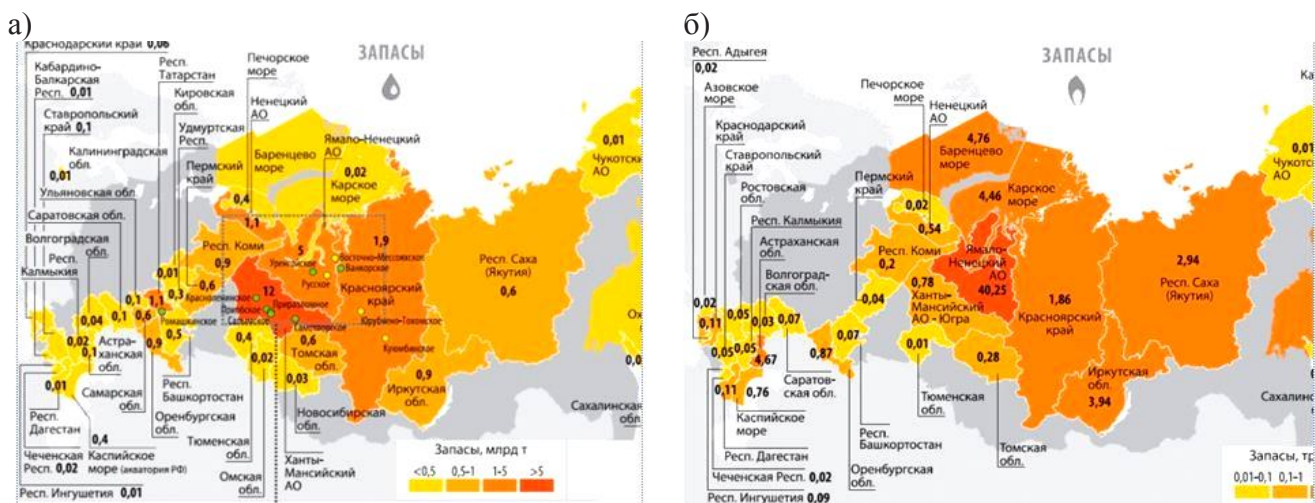


Рис. 3. Карта потенциальных запасов на территории РФ: а – нефти; б – газа

Если наложить эти карты на карту единого и децентрализованного энергообеспечения, то получится, что большинство таких месторождений находится именно в зонах, удалённых от единой сети. Вариантов энергоснабжения таких объектов немного: транспортируемые генераторы на жидком топливе либо использование возобновляемых источников энергии. Но в нашей стране такие установки пока не получили широкого распространения.

Один из лидеров по добыче нефти и газа в России компания «Газпром-нефть» начала рассматривать возможности применения возобновляемой энергетики [16]. Здесь потребители электрической энергии являются специфическими, например: электродвигатели насосных установок для подготовки и транспорта сырья, двигатели для поддержания пластового давления, двигатели погружных насосов в нефтяных скважинах, системы обогрева трубопроводов, промышленные и ремонтные объекты, вахтовые посёлки и т. д., то есть предъявляются высокие требования к качеству и надёжности объектов электроснабжения: при остановке оборудования нарушится технологический процесс, что повлечёт за собой большие финансовые убытки. На восстановление работо-

способности объектов потребуются большие временные затраты, а также вполне возможно возникновение экологических катастроф, угрозы жизни и здоровью рабочего персонала.

Из вышеизложенного следует, что к внедрению возобновляемой энергетики для нефтегазовой отрасли необходимо подходить с особой осторожностью, учитывая множество факторов. На сегодняшний день к наиболее очевидным недостаткам, ставящим под сомнение использование ветро-солнечных установок в качестве основных источников питания, можно отнести:

- нерегулируемость выработки электроэнергии (прямая зависимость от солнечного излучения и силы ветра, которые характеризуются большим непостоянством в регионах добычи);
- невозможность абсолютно точного прогнозирования выработки электрической энергии и изменения мощности электростанций;

- необходимость использования огромных земельных участков, которые могут в десятки раз превышать площади территорий электростанций на базе традиционных источников энергии. К примеру, удельная площадь для газопоршневых и газотурбинных установок, работающих на природном газе, составляет 0,06...0,06 га/МВт. Для ветро-солнечных установок этот показатель может достигать 1 га/МВт мощности. Этот недостаток может привести к увеличению занимаемых площадей, объёмов инженерной подготовки в удалённых регионах;

- возможность установленной мощности гибридной установки превышать в несколько раз требуемую нагрузкой мощность в сравнении с установленной мощностью источников, работающих на углеводородном топливе. В комбинированной установке требуется предусмотреть значительное количество ветроэнергетических установок и солнечных батарей, суммарная мощность которых ввиду непостоянства ветро-солнечной активности должна будет обеспечить объекты электрической энергией в рабочем режиме и параллельно с этим накапливать её в аккумуляторах для обеспечения энергии в неблагоприятные погодные условия;

- значительное отставание гибридных установок на возобновляемых источниках энергии большой мощности от традиционных источников по экономическим показателям. На сегодняшний день стоимость строительства объектов энергообеспечения на базе ВИЭ в нашей стране может достигать 120 млн р./МВт, что в крупной компании может быть сравнимо с удельной стоимостью строительства газотурбинной или газопоршневой электростанции, стоимость которой составляет около 90...110 млн/МВт. Однако даже при небольшой разнице в удельной стоимости значительное увеличение общей стоимости строительства объектов на базе ВИЭ может возникнуть из-за того, что число единиц генерирующего оборудования и их установленная мощность могут значительно превышать показатели традиционных источников;

- необходимость в передаче куда-либо нефтяного газа, который нужен для использования в ГТЭС в случае замены оборудования на объекты ВИЭ. Это может повлечь за собой проблемы, в том числе финансовые, на его утилизацию или транспортировку.

Таким образом, гибридные ветро-солнечные установки в настоящее время не удовлетворяют установленным нагрузкой требованиям, по технико-экономическим показателям они уступают электростанциям, работающим на традиционном топливе, и их эксплуатация нецелесообразна. Однако альтернативную энергетику можно использовать на объектах малой (вспомогательной) инфраструктуры общей мощностью до 10 кВт, которые удалены от основного источника питания на значительное расстояние. Это в некоторых случаях может стать даже более целесообразным решением, нежели получение энергии от источников на жидком топливе [10]. В нефтегазовой отрасли к таким объектам можно отнести площадки электрифицированных узлов запорной арматуры транспортных трубопроводов, станции электрохимической защиты от коррозии, системы обнаружения утечек нефти и газа, объекты телемеханики и связи.

Существует потенциал в экономии затрат на возведение систем электроснабжения объектов на ВИЭ по сравнению с использованием ЛЭП или генераторов на жидком топливе, обусловленный вышеприведёнными факторами. Самым ярким примером такой экономии стало снижение затрат на электроснабжение системы транспорта нефти от месторождений Чона и «Сахалина-3», которая составила более 1 млрд р.

Таким образом, комбинированные ветро-солнечные установки можно и нужно использовать для энергообеспечения объектов нефтегазовой инфраструктуры. Но на сегодняшний день этими объектами являются только маломощные и неотчетливые потребители электрической энергии. Требуется улучшение технических характеристик вновь создаваемых электростанций на базе возобновляемой энергетики [7].

Комбинированные установки для сельского хозяйства

Большинство объектов сельского хозяйства, согласно ПУЭ, относят к 3-й категории по степени надёжности электроснабжения [11]. Но значительное количество таких объектов территориально находится в неблагоприятных с точки зрения энергообеспечения местах (земельные наделы (выкупленные единичные паи), отдалённые деревни, заброшенные объекты колхозов и совхозов, «неликвидные» с точки зрения землепользования неблагоустроенные объекты).

Самый яркий пример – участки, выделенные государством по программе «Дальневосточный гектар», вблизи которых нет населённых пунктов, дорог, ЛЭП единой сети. В связи с этими доводами использование альтернативной энергетики является очень приоритетным вариантом. Солнечные батареи и ветроэнергетические установки, способные обеспечивать стабильной и дешёвой электроэнергией сельскохозяйственные объекты для ведения устойчивого сельскохозяйственного производства, также позволят избежать больших затрат на возведение кабельных и воздушных линий электропередач, особенно в отдалённых регионах.

Например, для обеспечения энергией отдельно стоящего коттеджа необходимо около 0,2...1 кВт установленной мощности, а для крупной фермерской постройки – 5...10 кВт. Однако нет необходимости устанавливать генерирующее оборудование исходя из значения пиковой нагрузки, потому что пиковое потребление может быть сглажено аккумуляторными батареями (или генератором на жидком топливе). Неверным является расчёт мощности исходя из суммы всех используемых электроприборов, так как они никогда не работают одновременно. Таким образом, с учётом того, что среднее потребление электроэнергии семьёй из трёх человек составляет 500 кВт·ч в месяц (около 0,7 кВт·ч среднечасового потребления), энергообеспечение таких объектов может осуществляться от ветроустановки и солнечных батарей суммарной мощностью 5 кВт. Использование систем общей мощностью 10 кВт будет нецелесообразным, потому что около 70 % вырабатываемой мощности окажется невостребованной.

Для зон с низким ветровым потенциалом экономически целесообразно не получать электрическую энергию от ветрогенератора с последующим её преобразованием до энергии промышленного качества, а использовать ток переменной частоты напрямую для нагрева ТЭНов [13]. Таким образом, можно обеспечить обогрев помещений и горячее водоснабжение дома, а также использовать ветроэнергетическую установку для электроснабжения водяных насосов и вращения насосов вентиляторов систем охлаждения. Следовательно, применение комбинированных установок на базе возобновляемой энергетики является достаточно перспективным решением проблемы электроснабжения децентрализованных объектов сельского хозяйства небольшой установленной мощности. В связи с большим количеством внедряемых долгосрочных программ развития сельского хозяйства, сооружением новых животноводческих ферм гибридные установки целесообразно рассматривать в качестве замены централизованному энергоснабжению.

К вышеизложенному можно добавить следующее: параллельно с солнечными панелями солнечную энергию можно использовать для преобразования в тепловую энергию путём применения солнечных коллекторов. Благодаря этому, можно использовать ТЭНы для горячего водоснабжения в летние месяцы гораздо реже.

Мобильные гибридные установки

На сегодняшний день мобильные комбинированные энергоустановки на базе возобновляемых источников энергии не распространены. В связи с тем, что зелёная энергетика ещё не получила широкого применения в нашей стране, по сравнению со странами Европы, США, Китая и др., первоочередной задачей является массовое внедрение статических элементов. Однако зарегистрированы частные случаи, в которых требуется временное электроснабжение, например: питание аварийных служб, полевых госпиталей, геологических партий, служб МЧС, строительных органи-

заций, дорожных служб или в целом потребитель периодически меняет местоположение, например объекты, обеспечивающие безопасность нашей страны. Безусловно, количество таких объектов незначительно по сравнению с количеством статичных децентрализованных объектов. Но полностью отказаться от энергообеспечения временных или передвижных объектов нельзя.

Основным объектом энергоснабжения в таких случаях стали генераторы на жидком топливе. Но их использование в большинстве случаев – вынужденная мера. Потребителям приходится игнорировать множество недостатков таких генераторов ввиду неимения достойных аналогов.

Отечественной разработкой является мобильная ветро-солнечная электростанция от компании «СНАБ СУРС» (см. рис. 4) [4]. Такие станции предназначены для энергоснабжения нагрузки на напряжении 220 В частотой 50 Гц переменного тока и 12...25 В на постоянном токе. При полностью заряженных аккумуляторных батареях и отсутствии генерации от возобновляемых источников возможна работа в течение нескольких часов только АКБ.

Наиболее интересным вариантом является разработка ветро-солнечной установки на базе автомобильного фургона (кунга). В таком случае предусматривается использование складного ротора ветрогенератора на телескопической мачте; также внутри фургона можно разместить складные (выдвижные) солнечные панели и дизельный генератор в качестве резервного источника питания. В целом такая установка является уникальной. К разработке такого комплекса приступили учёные Южно-Уральского государственного университета (г. Челябинск) [9].

К достоинствам гибридных мобильных электростанций относят:

- мобильность и оперативность развёртывания;
- бесперебойное и качественное энергоснабжение потребителей за счёт дублирования генерирующих установок;
- высокий КПД за счёт оптимизации режимов работы различных источников энергии;
- длительный срок службы (15...20 лет);
- незначительные затраты на обслуживание.

Выводы

Таким образом, одним из приоритетных направлений в развитии энергетики является разработка новых, высокоэффективных автономных энергоустановок на базе возобновляемых источников энергии. Причём особое внимание стоит уделить комбинированным установкам, предполагающим использование ряда ВИЭ и гарантирующим энергообеспечение за счёт дублирования источников энергии. Одним из наиболее доступных вариантов могут стать комбинированные ветро-солнечные установки, в которых ветроэнергетическая установка и солнечные батареи являются взаимодополняющими элементами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Велькин, В. И. Оптимизация выбора энергообеспечения на основе кластерного подхода в использовании возобновляемых источников энергии / В. И. Велькин // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 2. – С. 61–66.
2. Гиниятуллина, Э. И. Автономные гибридные установки с использованием возобновляемых источников энергии / Э. И. Гиниятуллина // Поволжский научный вестник. – 2018. – № 1. – С. 39–44.
3. Гиркин, А. С. Перспективы гибридных ветро-солнечных станций / А. С. Гиркин // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. статей по материалам X Всероссийской конференции молодых учёных, посвящённой 120-летию И. С. Косенко; отв. за вып. А. Г. Коцаев. – 2017. – С. 500-501.



Рис. 4. Мобильная гибридная система энергоснабжения



4. Мобильные ветро-солнечные гибридные электростанции мощностью от 3 до 12 кВт с резервным ДГУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cs3.a5.ru/media/45/7a/25/457a25dde268a7b2bd02395659a3386f.pdf> (дата обращения: 25.04.2019).
5. Мобильная гибридная система электроснабжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://alternenergy.ru/shop/avtonomnoe-yenergosnabzhenie/mobilnaja-gibridnaja-sistema-yenergosnabzhenija>.
6. Новокрещенов, О. В. Комбинированные системы электроснабжения на возобновляемых источниках энергии / О. В. Новокрещенов, Г. С. Отмахов, М. Ю. Хуаде // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2017. – № 132. – С. 786–797.
7. Новокрещенов, О. В. Комбинированные системы электроснабжения / О. В. Новокрещенов // Итоги научно-исследовательской работы за 2017 год: сб. статей по материалам 73-й Научно-практической конференции преподавателей. – 2018. – С. 619-620.
8. Обзор мировой ветроиндустрии за 2016 год / В. В. Долгошеев, Д. В. Коробатов, А. С. Мартынянов, А. А. Мирошниченко, Я. Р. Мужагитов, Д. А. Хвостов, М. С. Чиненов // Альтернативная энергетика и экология. – 2018. – № 7–9(255–257). – С. 105–113.
9. Обзор идеи по разработке мобильного масштабируемого энергокомплекса на основе возобновляемых источников энергии / А. А. Мирошниченко, Е. М. Гордиевский, А. З. Кулганатов, Е. А. Сироткин // Академический журнал Западной Сибири. – 2018. – Т. 14. – № 4(75). – С. 61–66.
10. О недостатке использования дизельных генераторов при электроснабжении автономных потребителей / А. А. Мирошниченко, Е. М. Гордиевский, А. З. Кулганатов, Е. А. Сироткин, А. А. Ковалёв // Интеграция наук. – 2018. – № 8(23). – С. 599-600.
11. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 6-е изд. – М.: Госэнергонадзор, 2000. – 513 с.
12. Соломин, Е. В. Масштабируемые гибридные ветро-солнечные установки малой мощности / Е. В. Соломин // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 2(106). – С. 49–60.
13. Соломин, Е. В. Экономические аспекты гибридных ветро-солнечных установок малой мощности / Е. В. Соломин // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 2(106). – С. 71–77.
14. Состояние малой ветроэнергетики в мире / А. А. Мирошниченко, Д. В. Коробатов, А. С. Мартынянов, Е. Е. Соломин, А. З. Кулганатов, Е. М. Гордиевский // Альтернативная энергетика и экология. – 2019. – № 1–3(285–287). – С. 136–143.
15. Твайдел, Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайдел, А. Уэйр; пер. с англ. под ред. В. А. Коробкова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – С. 195–242.
16. Туровин, О. А. Применимость ветро-солнечной энергетики в качестве альтернативного источника электроснабжения нефтяных объектов компании / О. А. Туровин, Е. Н. Огнев, А. Е. Кочнев // ПРОнефть. Профессионально о нефти. – 2017. – № 2(4). – С. 69–74.