

С.П. КУНДАС, д.т.н., профессор, ректор
УО «Международный государственный
экологический университет им. А.Д. Сахарова»
(МГУ им. А.Д. Сахарова),

Ю. ШЕНК, научный консультант (Германия), н.с.,
Н.Н. ВАЙЦЕХОВИЧ, проректор МГУ им. А.Д. Сахарова»

Гибридные технологии в использовании возобновляемых источников энергии

АННОТАЦИЯ

В статье приведен обзор и анализ применения гибридных технологий для решения задач эффективного энергоснабжения в сельской местности с использованием возобновляемых источников энергии. Рассмотрены типовые схемы и конфигурации гибридных систем, состав применяемого оборудования, экономические аспекты практического применения. Показано, что применение гибридных систем на основе возобновляемых источников энергии является перспективным решением для децентрализованного электроснабжения в сельской местности и удаленных объектов, а также для обеспечения аккумулярования излишков электрической энергии, снятия пиковых нагрузок при эксплуатации сезонно и погодно зависящих возобновляемых источников энергии большой мощности (ветропарки).

Summary

The article is devoted to review and analysis of hybrid systems application for the solving of effective energy supply tasks in rural areas using renewable energy resources. There are considered the typical schemes, configurations of hybrid systems and applied equipments, economical aspects of practical use. It is showed that appliance of hybrid systems on the base of renewable energy resources is the perspective decision for the decentralized energy supply in rural areas and long distant objects, as well as for the providing accumulation of electricity surplus, removal of peak loads at the exploitation for the season and weather dependent renewable energy resources with higher power (wind parks).

Возобновляемые источники энергии в настоящее время являются одним из приоритетных направлений в решении глобальных проблем энергетической безопасности и сохранения климата [1]. В нашей стране разработана Национальная программа «Развитие местных, возобновляемых и нетрадиционных энергоисточников на 2011–2015 годы», согласно которой к 2020 г. необходимо обеспечить долю использования собственных энергоресурсов в балансе энергоресурсов для производства тепловой и электрической энергии не менее 32,0%. Значительный вклад в выполнение программы должны внести и возобновляемые источники энергии, доля которых в энергетическом балансе страны в 2010 г. составляла

около 5% [2]. Предусматривается, наряду с широким использованием в энергетических целях биосырья (сельскохозяйственные отходы, древесное биотопливо и т.п.), развитие ветро- и солнечной энергетики.

Мировой опыт использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) показывает, что выработка энергии ветроустановками, солнечными батареями и водонагревательными коллекторами в большой степени зависит от времени года и погодных условий, что обуславливает проблемы со стабильностью энергообеспечения. Эта задача решается путем использования таких видов ВИЭ в составе существующих энергетических сетей или в качестве дополнительного источника энергии. Однако в последние

годы предложено достаточно большое количество разработок, которые обеспечивают устойчивое энергоснабжение объектов с помощью так называемых гибридных энергетических систем на основе ВИЭ [3–14]. Эта концепция получила наиболее широкое распространение применительно к электрообеспечению сельских территорий и к автономному энергообеспечению удаленных объектов, например, базовых станций сотовой связи, гидрометеорологических станций, небольших удаленных хуторов и деревень и т.п.

Гибридные системы берут наилучшие черты от каждого источника энергии и обеспечивают электроэнергию мощностью от 1 кВт до нескольких сот киловатт (рис. 1). Они могут быть разработаны

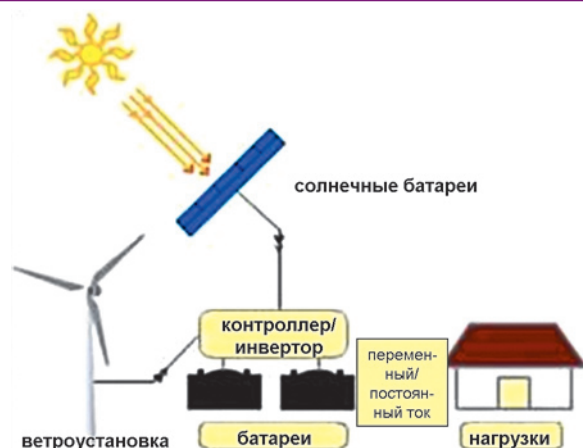


Рис. 1. Обобщенная схема и вид гибридной системы на основе ВИЭ

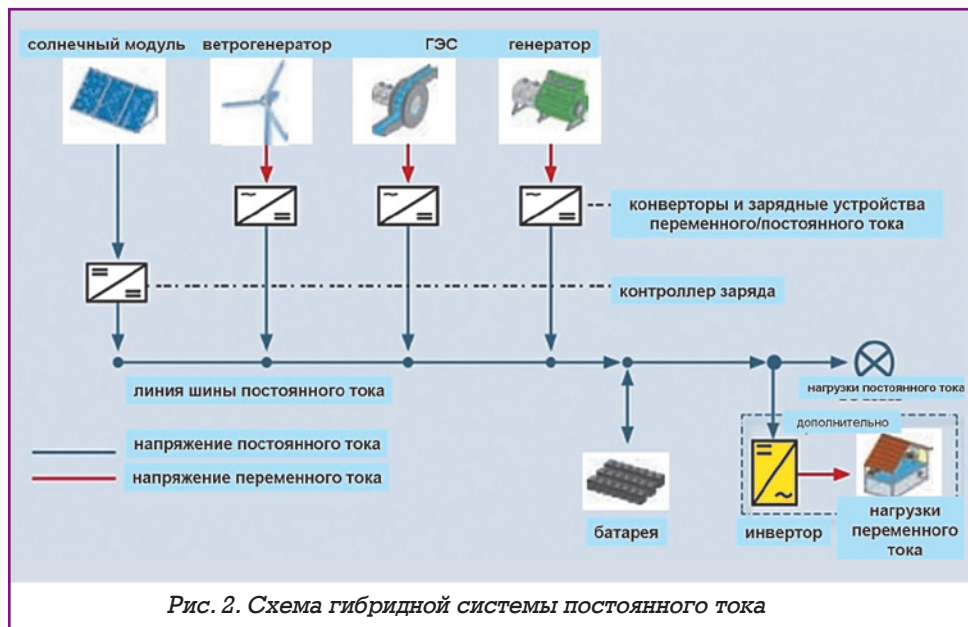


Рис. 2. Схема гибридной системы постоянного тока

как новый интегрированный дизайн в небольших системах распределения электроэнергии (мини-сетей), а также подпитываться от энергосистем, основанных на дизельном электропитании. Ими могут также выполняться функции резервного электроснабжения в случае аварийного отключения традиционных сетей.

Принципы построения гибридных энергетических систем на основе возобновляемых источников энергии

Гибридные энергетические системы чаще всего объединяют несколько возобновляемых энергетических источников: солнечные батареи, мини-ГЭС и другие устройства для аккумулирования энергии, которые преимущественно предназначены для обеспечения объектов электрической энергией [3]. В состав системы могут также входить источники тепловой энергии (биогазовые установки, солнечные тепловые коллекторы) и источники на органическом топливе (дизель-генераторы), которые выполняют роль резервного питания. Технологические конфигурации могут быть классифицированы в соответствии с видом напряжения в сети: постоянного, переменного тока или смешанные линии [3].

Как видно из рисунка 2, в гибридной системе постоянного тока все компоненты по выработке электричества связаны с линиями постоянного тока, от которых заряжаются батареи. Батареи должны иметь защиту (контроллер) от перезарядки и полного разряда. Напряжение от источников переменного тока (ветрогенераторы, дизель-генератор) преобразуется в постоянное с помощью конвертеров. Вырабатываемое напряжение

в соответствии со спросом подается на нагрузку постоянного тока. Нагрузки переменного тока запитываются через инвертор.

В гибридных системах переменного тока основные источники напряжения могут быть связаны напрямую с линией переменного тока или же через дополнительные конвертеры для обеспечения требуемых характеристик переменного тока (актуально при соединении системы с централизованной электросетью). В обоих случаях двунаправленный инвертор контролирует подачу энергии для зарядки аккумуляторов, а также от аккумуляторов на нагрузку переменного тока. Нагрузки постоянного тока могут обеспечиваться напряжением от аккумуляторов.

Исходя из особенностей работы, гибридные системы классифицируются как *последовательные*, *переключаемые* и *параллельные* [16].

В *последовательных системах* (рис. 3) аккумуляторы заряжаются от солнечного

фотоэлектрического модуля (в представленной конфигурации) или от дизель-генератора постоянного тока (при отсутствии солнечного излучения). От аккумуляторов с помощью инвертора запитывается нагрузка переменного тока. Система может работать в ручном или автоматическом режиме при наличии сенсоров зарядки батарей и контроллера включения дизель-генератора. Последовательная конфигурация системы имеет относительно простую схему и в настоящее время применяется достаточно широко.

В качестве недостатков можно отметить частые перезарядки аккумулятора, что приводит к сокращению его срока службы, необходимость наличия батарей повышенной емкости (для уменьшения глубины разряда). Выход из строя инвертора приводит к полному отключению потребителей от сети.

В *переключаемых гибридных системах* переменное напряжение потребителям может подаваться через инвертор от аккумуляторов, возобновляемых источников или от генератора переменного тока. Зарядка аккумуляторов осуществляется от возобновляемых источников или от дизель-генератора (через выпрямитель). При работе системы в автоматическом режиме контроллеры управления создают необходимую конфигурацию системы, что позволяет обеспечить бесперебойное питание потребителей и необходимый уровень заряда аккумулятора.

По сравнению с последовательной переключаемая гибридная система имеет большую надежность в энергообеспечении, но, конечно, и большую сложность.

В *параллельной конфигурации гибридной системы* имеется возможность подачи энергии потребителям независимо каждым входящим в систему источником (при малых и средних нагрузках), а также одновременно от всех — при пиковых нагрузках. В последнем случае требуется синхронизация формы напряжения на выходе инвертора и генератора

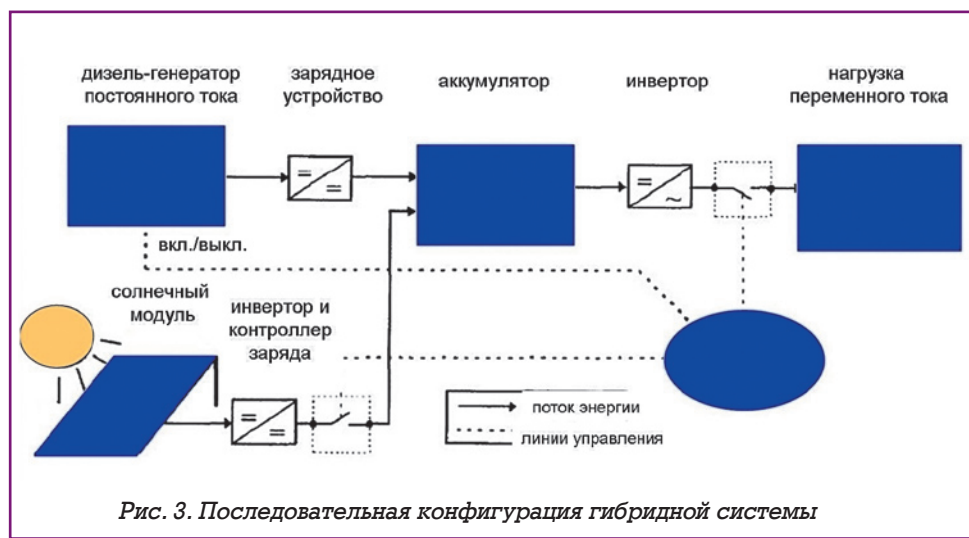


Рис. 3. Последовательная конфигурация гибридной системы

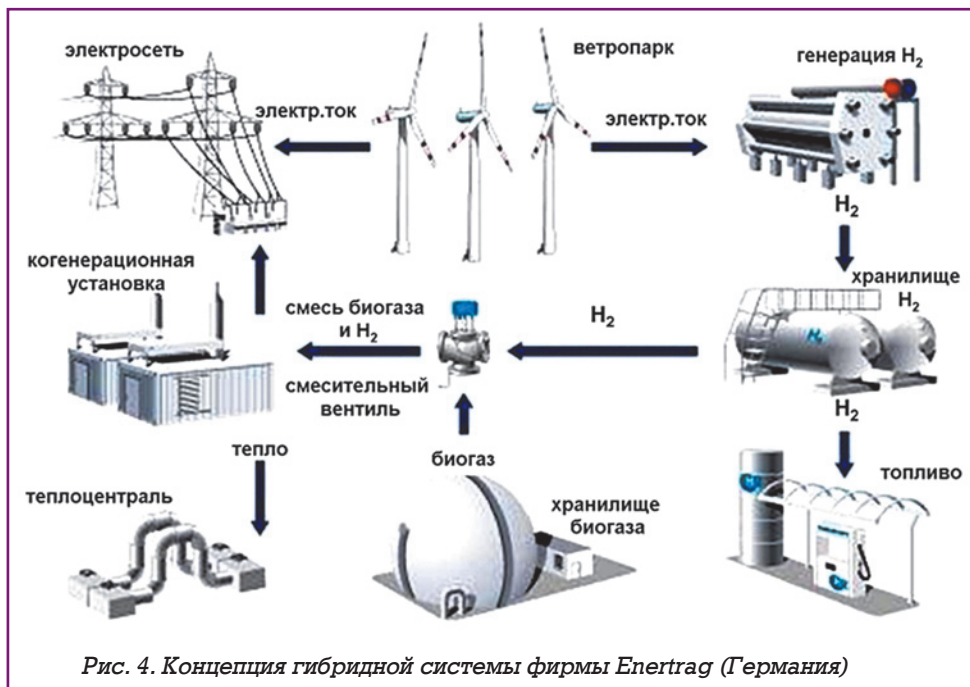


Рис. 4. Концепция гибридной системы фирмы Enertrag (Германия)

переменного тока. Двухнаправленный инвертор обеспечивает зарядку аккумуляторов от генератора переменного тока и преобразование постоянного тока от солнечных батарей и аккумуляторов в переменный ток. Следует отметить, что эффективная эксплуатация параллельной гибридной системы требует сложной системы управления. Однако, исходя из больших возможностей надежного энергообеспечения, последняя конфигурация имеет перспективность в практическом применении, в особенности когда в систему подключены несколько видов возобновляемых источников энергии.

Анализ разработок и рынка гибридных систем на основе ВИЭ

Разработкам в области гибридных систем уделяется в настоящее время большое внимание фирмами, работающими в области возобновляемой энергетики. С одной стороны, гибридные технологии позволяют решить проблему влияния погодных условий на устойчивое обеспечение энергией от ВИЭ, с другой стороны, решить задачу автономного энергообеспечения объектов, удаленных от централизованных электрических и тепловых сетей.

Фирма Enertrag AG (Германия), которая эффективно работает в области ветроэнергетики, предлагает технологии по совместному использованию энергии ветра, биогаза и водорода для решения проблемы появления избыточной электроэнергии, вырабатываемой большими ветропарками (сезонный стабильный ветер, ночное время и др.) (рис. 4) [4]. Для аккумуляции электроэнергии фирмой реализуется проект ее использования

для электролитического разложения воды на водород и кислород с последующей закачкой водорода в хранилище. В дальнейшем, при увеличении потребления электрической энергии, водород вместе с биогазом может снова преобразовываться в блочных электростанциях в электрическую энергию.

Кроме этого, водород может использоваться как топливо в новых водородных двигателях или топливных ячейках. По информации фирмы Enertrag AG, первый такой проект реализован в Берлине в конце 2011 г., в качестве второго планируется в 2012 г. строительство аналогичного объекта в новом международном аэропорту (Berlin Brandenburg International airport) [4].

Эффективное использование водорода в составе гибридной солнечной энергосистемы (с КПД 28,5%) в жилых помещениях предложено в разработках ученых университета им. Дюка (Северная Каролина, США) (рис. 5) [17].

Вместо энергетической системы, основанной на стандартных солнечных батареях, предлагается гибридная система, в которой солнечный свет нагревает смесь биоэтанола и воды в специальных батареях из стеклянных трубок, расположенных на крыше. В результате двух

каталитических реакций в этих батареях водород образуется намного эффективнее, чем по другим технологиям.

Как и в других решениях, основанных на солнечной энергии, гибридная система начинает функционировать при поглощении солнечного света. Однако ее конструкция отличается от традиционного солнечного коллектора, так как сеть медных трубок покрыта тонким слоем алюминия и оксида алюминия с частичным заполнением каталитическими наночастицами.

Конструкция установки позволяет использовать до 95% энергии поглощенного солнечного света с очень малыми потерями в окружающую среду, что обеспечивает в конце трубной системы коллектора температуру до 200 °С (в обычном солнечном коллекторе температура достигает всего 60–70 °С). При таких высоких температурах в испаряющуюся жидкость, как уже упоминалось выше, добавляется немного катализатора для производства водорода. В результате полученный водород можно либо сразу направить на топливные элементы для выработки электроэнергии для жилого дома в течение дня, либо сжимать и закачивать в баллоны для хранения с последующей подачей по мере необходимости на топливные элементы.

Следует отметить, что в настоящее время ряд фирм России, Украины, Казахстана предлагают конкретные технические решения и соответствующее оборудование для создания гибридных автономных систем, обеспечивающих электроэнергией удаленные объекты [5–15]. В частности, фирма «Ваш солнечный дом» (SOLAiR) [13] проектирует и устанавливает системы, которые могут работать на разных источниках энергии: солнечных батареях, ветроустановках, микроГЭС, дизель-генераторах, а также планируется использование биосырья для целей отопления.

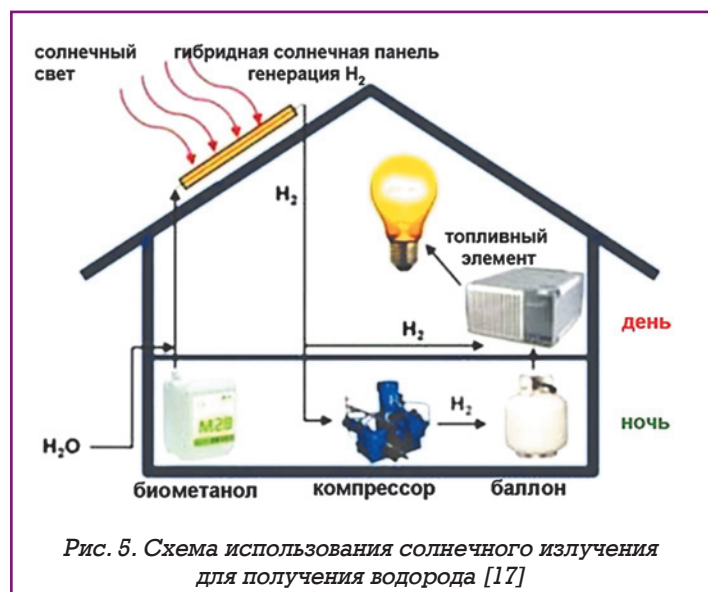


Рис. 5. Схема использования солнечного излучения для получения водорода [17]

Локальная электрификация с использованием гибридных электростанций позволяет полностью покрыть потребности в электроэнергии жилых домов и местных производственных объектов. Также современные технологии коммуникаций могут быть применены для организации удаленного управления энергетическим оборудованием с помощью мобильной связи и интернета.

В настоящее время фирма **SOLAiR** предлагает маломощные ветро-солнечные станции мощностью ветроустановки 500 и 1000 Вт, солнечных батарей — от 160 до 1000 Вт [12]. Все системы построены на базе маломощных ветроэнергетических установок производства китайского завода Shenshou Wind Driven. К системе возможно подключение солнечных батарей практически любой мощности через дополнительный контроллер заряда.

Например, поставляемая фирмой гибридная ветро-солнечная электростанция ВСЭ-500/160-24 состоит из следующих компонентов:

1. Ветроэлектрической установки мощностью 500 Вт, включающей ветротурбину, мачту, блок контроля и управления зарядом аккумуляторной батареи, балластную нагрузку.
2. Фотоэлектрического модуля пиковой мощностью 160–170 Вт напряжением 24 В.
3. Контроллера заряда солнечных батарей на ток до 10 А, 24 В.
4. Инвертора номинальной мощностью 500 Вт или любого другого максимальной мощностью до 3 кВт с входным напряжением 24 В (в зависимости от потребностей инвертор может быть как с синусоидальной формой напряжения на

выходе, так и квазисинусоидальной).

5. Двух гелевых аккумуляторных батарей напряжением 12 В и номинальной емкостью 200 А·ч.

Для обеспечения бесперебойного электроснабжения рекомендуется ввести в систему небольшой (1–3 кВт) бензоэлектрический агрегат (на случай отсутствия ветра и яркого солнечного излучения в течение продолжительного периода).

Гибридные решения предлагаются и другими российскими фирмами (Ecotecox, «Балтэлектронкомплект», ООО «ТеплоЭнергоСервис-Пермь» и др.) [11, 13, 15].

Например, фирмой «Балтэлектронкомплект» (Санкт-Петербург) поставляется комплект «Автономный», который содержит:

- 1) Ветроагрегат номинальной мощностью 5 кВт.
- 2) Солнечные модули мощностью 150 Вт — 6 шт.
- 3) Бензогенератор мощностью 4,5 кВт.
- 4) Аккумуляторы 12 В, 200 А·ч — 8 штук.

Полная стоимость системы — от 750000 руб.

Гибридные системы выпускаются также украинскими фирмами. В частности, НПО «ГрандЭнерго» предоставляет на рынок системы, использующие энергию ветра и солнца. Стандартная комплектация гибридных систем включает в себя:

- ветрогенератор на 0,8 кВт;
- башню высотой 17,2 м;
- высококачественные солнечные модули с гарантией до 20 лет;
- модуль, отслеживающий максимальную мощность солнечной

Таблица 1

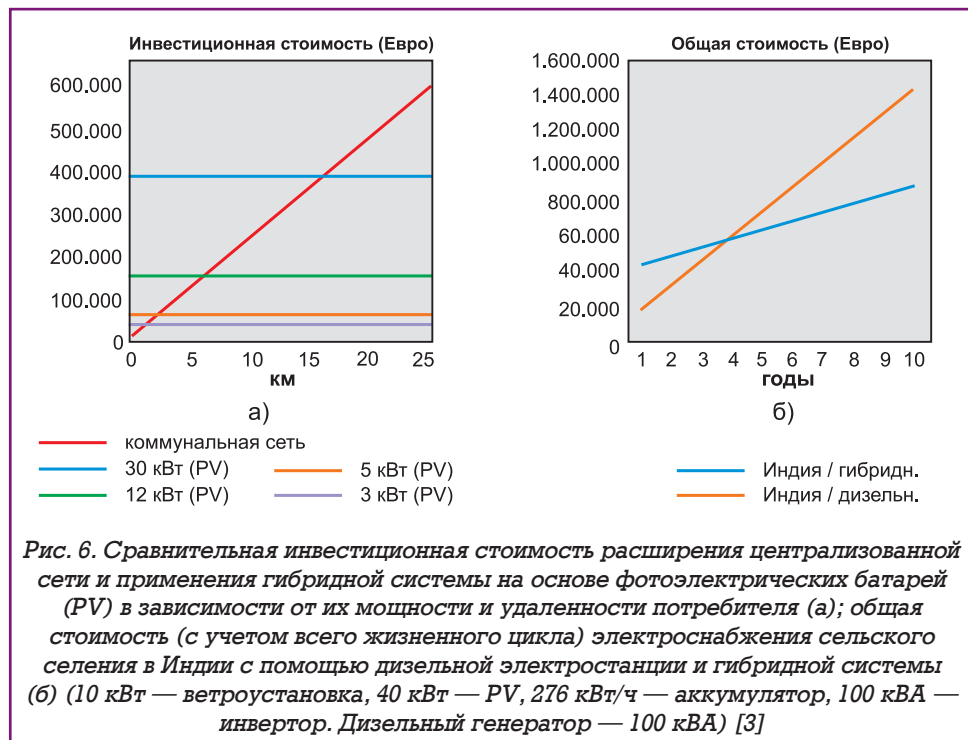
| Установленная мощность | Розничная цена |
|------------------------|---------------------|
| 2050 W | 8,500.00 долл. США |
| 2575 W | 10,200.00 долл. США |
| 3100 W | 12,750.00 долл. США |
| 3625 W | 13,500.00 долл. США |
| 4150 W | 14,900.00 долл. США |

- активности (солнечный контроллер, МРРТ);
 - инвертор с зарядным устройством (чистый синус) 3000–4500 Вт;
 - зарядное устройство мощностью: 85-100 А (24 VDC), 42-55 А (48 VDC);
 - встроенный автовыключатель АК;
 - высокоэффективные гелевые аккумуляторы;
 - кабельные изделия;
 - датчик температуры батареи;
 - рабочий проект.
- Примерная стоимость гибридных систем приведена в таблице 1.

Эффективность использования гибридных систем

Для конкретного удаленного поселения стоимость различных вариантов поставки электроэнергии будет варьироваться в зависимости от специфики местных условий, таких как объем потребляемой мощности, распределение нагрузки, наличие возобновляемых источников, цена на топливо и транспортная сеть. Что касается возобновляемых источников энергии, то их применение в сельской местности, несмотря на более высокую стоимость первоначальных капитальных вложений, во многих случаях оказывается экономически выгодным, учитывая низкие затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание. Решающим фактором в принятии решений является изменение цены на углеводородные виды топлива и, следовательно, цена топлива на национальном уровне. Резкое повышение стоимости сырой нефти и продолжающееся истощение этого ресурса приводит к долгосрочному ограничению в экономическом развитии во всем мире. Гибридные системы, основанные на ВИЭ, являются независимыми от цен на нефть. Даже если эти системы включают дизельный генератор в качестве резервного, тем не менее ВИЭ обеспечат от 60 до 90% потребляемой энергии.

Основными факторами в определении стоимости расширения централизованных сетей, включая монтаж линий среднего и высокого напряжения,



подстанций и низковольтных распределительных устройств, являются размер нагрузки, расстояние от нагрузки до существующих линий электропередачи, ландшафт местности. Из-за отсутствия критической массы, низкого потенциала спроса на электроэнергию и, конечно же, большого расстояния между электросетью и удаленным сельским поселением стоимость электрификации небольших сообществ посредством расширения сети может быть высокой и, таким образом, экономически невыгодной. Недостаточный уровень квалификации местного технического и управленческого персонала, большие потери при передаче электрической энергии являются также факторами, выступающими против такого решения.

Электрификация при помощи гибридных систем, основанных на ВИЭ, представляет в этом случае более дешевый и дружелюбный для окружающей среды вариант. Повышение надежности гибридных систем, несущественные потери при передаче энергии, рациональное ее потребление и оптимальное использование местных ресурсов играют приоритетную роль в выборе такого децентрализованного решения.

Гибридные системы доказали свою состоятельность, и опыт их использования во многих странах (рис. 6) свидетельствует о перспективности таких решений для сельской местности [3].


Определенный опыт в этом направлении имеется и в нашей стране. В частности, фирмой «Альфа-Калор» в хозяйстве «Агро-Бокс Зоотех» организовано обеспечение электроэнергией по гибридной технологии животноводческой фермы (рис. 7) [18]. МГЭУ им. А.Д. Сахарова планирует в 2012 г. строительство на территории УНК «Волма» демонстрационной площадки возобновляемых источников энергии, энергоэффективного дома (коттеджа) с его энергообеспечением за счет гибридных технологий с последующим созданием демонстрационного объекта по энергоэффективному строительству в сельской местности.

Можно отметить, что широкое практическое применение гибридных систем будет в значительной степени зависеть от выпуска отечественного доступного по цене оборудования (ветроустановок малой мощности, солнечных батарей и водонагревательных коллекторов, тепловых насосов и др.). В связи с принятыми в нашей стране планами по строительству ветропарков не следует сбрасывать со счетов и возможности гибридных систем для большой энергетики с точки зрения решения проблем пиковых нагрузок, аккумулирования излишков электрической энергии, рационального ее использования.



Рис. 7. Гибридная система на основе ВИЭ фирмы «Альфа-Калор»

Выводы

Применение гибридных систем на основе возобновляемых источников энергии является перспективным решением для децентрализованного электроснабжения в сельской местности и удаленных объектов, а также для обеспечения аккумулирования излишков электрической энергии, снятия пиковых нагрузок при эксплуатации сезонно и погодно зависящих возобновляемых источников энергии большой мощности (ветропарки). Для Республики Беларусь, которая имеет хорошее покрытие всей территории энергетическими сетями, гибридные решения будут не настолько эффективны, как, например, для России. Однако в связи с долгосрочной программой развития сельского хозяйства, строительством агрогородков, новых ферм, животноводческих комплексов гибридные технологии целесообразно рассматривать как альтернативу централизованному энергоснабжению. 

Литература

1. Кундас, С.П., Позняк, С.С., Шенец, Л.В. Возобновляемые источники энергии / Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2009. 390 с.
2. Повышение энергоэффективности и использование возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь / Минск: Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь, 2011. 8 с.
3. Hybrid power systems based on renewable energies: a suitable and cost effective solutions for rural electrification. Alliance for rural electrification, 2010. 9 p.
4. Hybrid Power Plant [Electronic resource] // Enertrag. — 2012. Mode of access: <https://www.enertrag.com/en/project-development/hybrid-power-plant.html>. — Date of access: 31.01.2012.
5. 000 «ЭкоГрупп». Портал по строительству, инженерным системам, альтернативной энергетике [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.ecogroup.com.ua/spravochnik/elektrosnabzhenie/gibridnye-sistemy/> 2011. Дата доступа: 31.01.2012.

6. TOO POLYSET [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.polyset.kz/?p=1418#more-1418>. 2009-2012. Дата доступа: 31.01.2012.

7. Ветровые электростанции [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://viter.com.ua/energiya-vetra-i-solnca-v-ukraine-prakticheskij-primjer-190.htm>. 2009. Дата доступа: 31.01.2012.

8. Альтернативная энергетика [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://alternativenergy.ru/vetroenergetika/117-shema-vetrogeneratora.html>. — 2012. Дата доступа: 31.01.2012.

9. Синтезгаз. Альтернативная энергия [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://sintezgaz.org.ua/2_articles_pro/35/gibridnye-energoberegayushchie-sistemy. — 2008-2012. Дата доступа: 31.01.2012.

10. ИТ Синтез. Инновационные технологии [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.itsintez.com/energo/equipments/alter/hybrid/> 2007-2011. Дата доступа: 31.01.2012.

11. «Ecoteco» — Ecology, Technologies, Economics [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.ecoteco.ru/id311/> 2006-2012. Дата доступа: 31.01.2012.

12. SOLAIR. Солнечная энергетика [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://solair.ru/index.php/2011-03-31-09-09-07/41-hybridpos>. 2009-2011. Дата доступа: 31.01.2012.

13. 000 «Балтэлектронкомплект» [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://alternative-energy.spb.ru/prod_gibrid.html. 2008. Дата доступа: 31.01.2012.

14. НПО «ГрандЭнерго» [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.energo.dn.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=43. 2012. Дата доступа: 31.01.2012.

15. 000 «ТеплоЭнергоСервис-Пермь» [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.tesperm.com>. 2011. Дата доступа: 31.01.2012. Hybrid Renewable Energy Systems for the Supply of

16. Hybrid Renewable Energy Systems for the Supply of Services in Rural Settlements of Mediterranean Partner Countries. Agricultural University of Athens, 2004. 78 p.

17. Newsmake [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://newsmake.net/news/gibridnaya-solnechnaya-energosisistema-na-vodorode-s-kpd-285>. Дата доступа: 31.01.2012.

18. Плешко, А. Основные источники энергии — ветер и солнце // Энергоэффективность. № 4/2011. С.13–14.