

## ЗАРУБЕЖНЫЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА БАЗЕ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В ИЗОЛИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Смоляков А.С., Горбенко А.В.

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва,  
e-mail: gorbenkoav@mpei.ru*

Цель исследования заключается в обобщении научного опыта повышения энергоэффективности автономных гибридных энергетических установок и исследовании перспективных путей повышения их экономической эффективности при использовании в труднодоступных территориях. В статье приводится обзор современных тенденций развития технологий автономных гибридных энергетических установок. Проведена классификация автономных гибридных энергетических установок по возможным комбинациям различных источников энергии. Исследованы возможности гибридных систем в связи с развитием новых технологий и расширением научных исследований в сфере энергетики. Рассмотрены принципы работы и виды автономных гибридных энергетических установок. Представлен механизм оптимизации загрузки и продления ресурса дизель-генераторной установки при совместном использовании с технологиями аккумуляирования энергии в автономных гибридных энергетических установках. Выделены преимущества и недостатки использования автономных гибридных энергетических установок на различных видах территорий, особенности и специфика применения в изолированных и труднодоступных территориях. Обоснованы экономические преимущества внедрения автономных гибридных энергетических установок по сравнению с дизельной генерацией для регионального бюджета. Продемонстрирован отечественный опыт строительства данных установок в изолированных населенных пунктах России. Представлено обзорно-аналитическое исследование перспектив развития использования автономных гибридных энергетических установок в мире. Рассмотрены перспективные направления развития технологий автономных гибридных энергетических установок. Сделан вывод о необходимости научного обоснования применения использования автономных гибридных энергетических установок в труднодоступных изолированных районах Дальнего Востока и Арктической зоны России.

**Ключевые слова:** автономные гибридные энергетические установки, изолированные территории, возобновляемые источники энергии, система накопления энергии

## FOREIGN AND DOMESTIC EXPERIENCE IN IMPROVING ENERGY EFFICIENCY ON THE BASIS OF HYBRID POWER PLANTS IN ISOLATED AREAS

Smolyakov A.S., Gorbenko A.V.

*National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow,  
e-mail: gorbenkoav@mpei.ru*

The purpose of the work is to generalize the scientific experience of improving the energy efficiency of autonomous hybrid power plants and to study promising ways to increase their economic efficiency when used in hard-to-reach areas. The article provides an overview of current trends in the development of technologies of autonomous hybrid power plants, energy sources. The possibilities of hybrid systems in connection with the development of new technologies and the expansion of scientific research in the field of energy are investigated. The principles of operation and types of autonomous hybrid power plants are considered. A mechanism for optimizing the load and extending the life of a diesel generator set when used together with energy storage technologies in autonomous hybrid power plants is presented. The advantages and disadvantages of using autonomous hybrid power plants in various types of territories, features and specifics of application in isolated and hard-to-reach areas are highlighted. The economic advantages of introducing autonomous hybrid power plants in comparison with diesel generation for the regional budget are substantiated. Domestic experience in the construction of these units in isolated settlements of Russia is demonstrated. A review and analytical study of the prospects for the development of the use of autonomous hybrid power plants in the world is presented. Promising directions for the development of technologies for autonomous hybrid power plants are considered. The conclusion is made about the need for scientific substantiation of the use of autonomous hybrid power plants in hard-to-reach isolated areas of the Far East and the Arctic zone of Russia.

**Keywords:** autonomous hybrid power plants, isolated territories, renewable energy sources, energy storage system

Энергосистема России представляет собой совокупность энергосистем, расположенных на территориях всех субъектов РФ, а также объединенные энергетические системы: Центр, Северо-Запад, Юг, Средняя

Волга, Восток, Сибирь, Урал. Но есть и территории, которые считаются изолированными от общей энергосистемы и по причине труднодоступности считаются удаленными от крупных городов, где у местных жителей

нет полноценного доступа к базовым услугам, таким как транспорт, образование и медицинское обслуживание.

По разным оценкам, численность населения на этих изолированных территориях составляет около 700 тыс. чел. [1]. Производство электроэнергии для них осуществляется местными объектами генерации, а доставка до потребителей осуществляется с помощью местных (изолированных) сетей.

В связи с тем, что во всех таких населенных пунктах единственным источником энергоснабжения является местная дизельная электрическая станция (ДЭС), а дизельное топливо доставляется с большими трудностями и в ряде случаев доставка может длиться до двух лет, производимая из такого топлива энергия – дорогая [2].

В это же время на протяжении последних 15 лет наблюдается стремительное развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Именно развитие технологий в сфере ВИЭ и становится предпосылкой к тому, что технологии получения и хранения энергии, основанные на использовании энергии с использованием фотоэлектрической системы и ветровых установок, становятся все более совершенными и экономически выгодными [3].

Разработка принципиально новых решений для изолированных территорий – автономные гибридные энергетические установки (АГЭУ), позволят изменить механизмы реализации и способы распределения и потребления электроэнергии [4].

Гибридные установки отличаются высокой универсальностью и предлагают индивидуальные решения для удовлетворения разнообразных энергетических потребностей [5]. Автономные системы электроснабжения (АСЭ) и автономные гибридные энергетические комплексы (АГЭК) основаны на едином технологическом принципе, позволяющем не только экономить топливо, но и улучшать качество электроснабжения, тем самым повышая безопасность эксплуатации электроустановок и экологичность окружающей среды.

#### Материалы и методы исследования

АГЭУ представляет собой энергетическую установку, которая работает на двух или более различных источниках энергии, что позволяет обеспечить стабильное и непрерывное производство энергии. Такие установки обычно имеют большую эффективность и экологическую чистоту по сравнению с традиционными энергетическими установками.

В частности, к АГЭУ относятся:

1. Гибридные солнечно-ветровые энергетические установки: сочетают в себе сол-

нечные панели и ветрогенераторы для получения электроэнергии при различных погодных условиях.

2. Гибридные солнечно-тепловые энергетические установки: комбинируют солнечные коллекторы для обогрева воды и солнечные панели для получения электроэнергии.

3. Гибридные геотермально-солнечные энергетические установки: объединяют геотермальные тепловые насосы для получения тепла из земли и солнечные панели для получения электроэнергии.

4. Гибридные гидро-солнечные энергетические установки: комбинируют гидроэнергетические установки, такие как гидроэлектростанции или приливные электростанции, с солнечными панелями для повышения общей энергетической производительности.

5. Гибридные биомассовые-солнечные энергетические установки: сочетают солнечные панели с использованием биомассы, такой как древесина или сельскохозяйственные отходы, для производства электроэнергии и тепла.

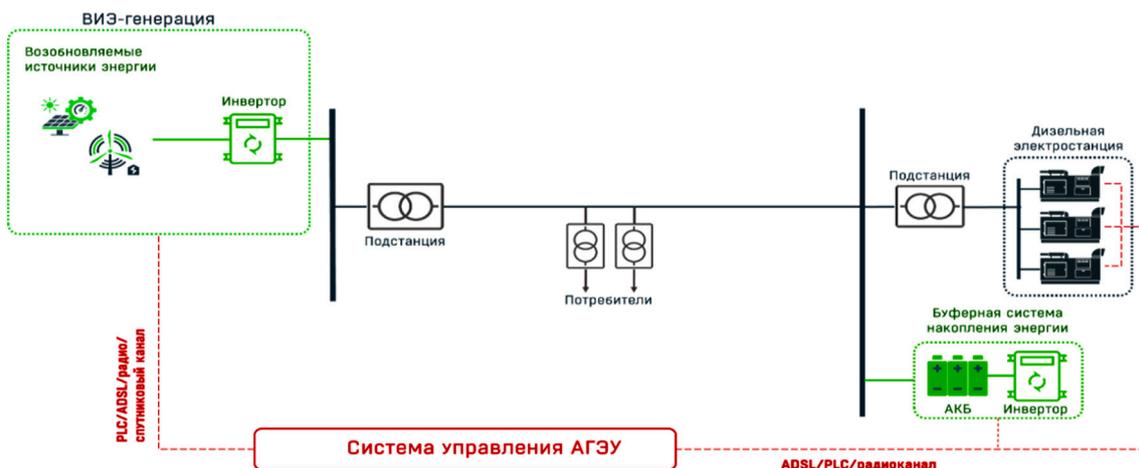
6. Гибридные водородно-солнечные энергетические установки: используют энергию солнца для производства водорода, который может быть использован в качестве чистого топлива для генерации электроэнергии.

Перечень гибридных энергетических установок не ограничен приведенными примерами, существует множество других возможных комбинаций различных источников энергии. Возможности гибридных систем постоянно расширяются с развитием новых технологий и исследований в сфере энергетики [6].

Как правило, АГЭУ состоит из ДЭС (которая чаще всего уже установлена на объекте), фотоэлектрической системы (ФЭС) или ветроэнергетической установки.

Также автономные гибридные энергетические комплексы включает в себя систему накопления энергии (СНЭ) и инверторы для управления установкой в автоматическом режиме. АГЭУ можно настроить таким образом, что энергия, вырабатываемая солнечной электростанцией, будет наиболее предпочтительно использоваться в сети электроснабжения.

В целях сбережения солнечной энергии аккумуляторы выступают в роли своеобразного буфера, позволяющего уменьшить ее расходование в вечернее время суток. Основное техническое решение одного из самых популярных видов АГЭУ включает компоненты ВИЭ и дизельной генерации (рисунки).



Основное техническое решение АГЭУ  
 Источник: составлено авторами

Кроме того, с помощью аккумуляторов оптимизируется загрузка дизель-генераторной установки (ДГУ) (аккумуляторы используются для «дозагрузки» ДГУ до оптимальной мощности, вследствие чего ночью, когда нагрузка очень мала, ДГУ отключаются и электроснабжение осуществляется от аккумуляторных батарей), что способствует продлению ресурса дизельного генератора.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Во многих открытых источниках приводятся данные о том, что первая в России АГЭУ для электроснабжения изолированного поселка была построена в поселке Яйлю Республики Алтай в 2013 г. Установка имеет мощность 100 кВт и была предназначена для автономного бесперебойного обеспечения п. Яйлю электроэнергией вместо 100%-ного использования ДЭС, которая уже не отвечала требованиям безопасности в полном объеме.

В селе Менза Забайкальского края в 2017 г. была построена АГЭУ, ставшая еще одним социальным проектом. АГЭУ состоит из солнечных модулей общей мощностью 120 кВт, двух ДГУ по 200 кВт и накопителя энергии емкостью 300 кВт\*ч. Реализация этого проекта позволила не только обеспечить бесперебойным энергоснабжением порядка пятисот жителей поселка, но и на 50% снизить потребление дизельного топлива, что выгодно для регионального бюджета, субсидирующего неэффективную дизельную генерацию.

Еще две АГЭУ были введены в эксплуатацию на территории Республики Тыва

в конце 2019 г. в пос. Кызыл-Хая и Мугур-Аксы. АГЭУ в поселке Кызыл-Хая состоит из ДЭС мощностью 400 кВт и ФЭС мощностью 150 кВт, емкость СНЭ составляет 250 кВт\*ч. АГЭУ в пос. Мугур-Аксы состоит из ДЭС мощностью 1200 кВт и ФЭС мощностью 400 кВт, емкость СНЭ составляет 460 кВт\*ч.

Все эти и последующие реализованные объекты на Чукотке и других регионах Дальнего Востока показали свою эффективность и экономическую целесообразность благодаря механизму энергосервисных контрактов, что послужило появлению на рынке АГЭУ такого крупного игрока, как ПАО «РусГидро». В 2021 г. ПАО «РусГидро» начинает реализацию проектов развития локальной энергетики с использованием ВИЭ в Республике Саха (Якутия) и на Камчатке и объявляет конкурсы на строительство порядка 30 АГЭЖ в этих регионах. В планах компании было ввести в эксплуатацию АГЭЖ в 72 населенных пунктах Якутии и в 7 населенных пунктах Камчатки. Уже известно о 6 введенных (таблица) в эксплуатацию АГЭЖ.

В связи с тем, что на Дальнем Востоке значительное число населенных пунктов с невысоким потреблением электроэнергии или низкой солнечной инсоляцией, реализация АГЭУ в этих местах экономически нецелесообразна. В этой связи начиная с 2022 г. Минвостокразвития совместно с ПАО «РусГидро» согласовывают программу обновления 382 устаревших дизельных энергообъектов. Сейчас данные объекты изношены на 60–80%, поэтому для обновления сопутствующей инфраструктуры требуется более 80 млрд руб.

Реализованные проекты Группы РусГидро в Республике Саха (Якутия)

Населенный пункт	Мощность ДЭС, кВт	Мощность ФЭС, кВт	Мощность СНЭ, кВт
Табалах (Улахан-Кюель)	600	400	125
Верхоянск	–	1030	300
Мома (Хонуу)	3300	1500	630
Сасыр	600	230	120
Кулун-Елбют	250	100	60
Тебюлях	250	100	60

Примечание: составлено авторами.

По предварительной оценке, инвестиции позволят запустить полномасштабную программу модернизации в удаленных населенных пунктах и приступить к решению сложившейся ситуации, которая не решается годами: замена устаревшего оборудования, внедрение передовых современных технологий и оптимизация стоимости производства электроэнергии [7]. В начале 2023 г. ГК «Хевел» в эксплуатацию была введена самая крупная в России АГЭУ суммарной мощностью 14,1 МВт (мощность ФЭС составляет 2,5 МВт). АГЭУ построена в п. Тура Красноярского края в дополнение к существующей ДЭС. В дневные часы выработанная от солнечной электростанции электроэнергия выдается в общую сеть, замещающая часть дизельной генерации, а СНЭ сглаживает колебания мощности солнечной электростанции. АГЭУ в год экономит 12–15% дизельного топлива, но из-за высокой стоимости дизельного топлива возврат инвестиций осуществляется за счет сохранения экономии расходов на топливо в тарифе в течение 10–15 лет.

Одним из интересных проектов является строительство АГЭУ на острове Бонайре Карибского моря, ежегодно посещаемый 70000 туристов. В 2004 г. пожар уничтожил существующую ДЭС острова. Несмотря на разрушительные последствия, это событие побудило жителей Бонайре спроектировать новую систему производства электроэнергии с нуля. После сдачи в аренду дизельных генераторов правительство и местная энергетическая компания приступили к совместной разработке плана по выработке 100% электроэнергии Бонайре из ВИЭ. Цель создания 100%-процентного производства электроэнергии из возобновляемых источников заключалась в том, чтобы создать рабочие места и снизить тарифы, которые жители платят за электроэнергию. К 2015 г. 44% электроэнергии на Бонайре вырабатывалась за счет энергии ветра. Установленные 12 ветряных турбин общей установленной мощностью в 11 МВт обе-

спечивали до 90% электроэнергии острова в периоды сильного ветра. Встроенный в систему аккумулятор емкостью 100 кВт\*ч позволил использовать дополнительные дизельные генераторы (общая мощность ДЭС 14 МВт), которые запускались при внезапном снижении ветровой нагрузки. Тарифы на электроэнергию, которые платят потребители Бонайре, снизились с пикового уровня в 0,50 доллара за кВт\*ч в 2008 г., когда остров обеспечивался электричеством с помощью временных дизельных генераторов, до 0,34 доллара за кВт\*ч на конец 2015 г. С целью большей интеграции ВИЭ и с целью предотвращения ситуаций сокращения произведенной электроэнергии от ВИЭ к концу 2019 г. на острове была построена система хранения энергии мощностью 6 МВт. Следующие шаги по преобразованию энергетики острова в сторону 100%-процентной возобновляемой системы энергоснабжения включают солнечные электростанции, дополнительные хранилища энергии и повышение энергоэффективности. Остров также является местом изучения местных ресурсов водорослей, выращиваемых на больших солончаковых равнинах острова, для получения биотоплива, которое затем можно будет использовать в существующих генераторах. Это сможет позволить на 100% использовать возобновляемую систему электроснабжения, обеспечивающую в среднем 40–45% годовой выработки электроэнергии за счет ветра и 55–60% за счет использования биодизельного топлива.

Также в качестве примера приведем проект по строительству АГЭУ на острове Неккер (Британские Виргинские острова). Остров, расположенный на северо-востоке Карибского моря, был куплен предпринимателем Ричардом Брэнсоном, который использовал его в качестве испытательного полигона для перехода к безуглеродной энергетике. До 2014 г. дизельное топливо было единственным ресурсом, используемым для выработки электроэнергии, но в 2014 г. Ричард Брэнсон приступил к поэтапному

отказу от использования всего дизельного топлива на острове. На конец 2016 г. было установлено 300 кВт ФЭС с одной ветряной турбиной мощностью 900 кВт, аккумулятором мощностью 500 кВт\*ч и усовершенствованными системами управления. В 2017 г. по всему Карибскому бассейну прошел разрушительный ураган Ирма, после чего была проведена масштабная реконструкция и к имеющемуся оборудованию были достроены еще две ветряные турбины по 900 кВт, а также были заменены разрушенные солнечные панели. На сегодняшний день в совокупности ветряные турбины, солнечная ферма и аккумуляторная система позволяют острову обходиться без дизельных генераторов около 90 % времени и снижать углеродный след на 2,5 т ежедневно.

### Заключение

Все эти примеры построенных АГЭУ показывают, что они могут быть полезны в различных секторах. Они особенно ценны в удаленных или отключенных от сети районах, где ограничен доступ к надежному электричеству. АГЭУ могут обеспечивать электроэнергией сельские общины, островные регионы, горнодобывающие предприятия и промышленные объекты, расположенные вдали от основных инженерных сетей. Используя доступные возобновляемые ресурсы и интегрируя их с обычными генераторами, АГЭУ работают автономно и снижают зависимость от дорогостоящих и вредных для окружающей среды поставок топлива.

Одним из основных преимуществ АГЭУ является их способность максимально эффективно использовать ВИЭ. В пиковые периоды выработки возобновляемой энергии избыток электроэнергии можно накапливать в батареях или использовать для питания критических нагрузок, уменьшая зависимость от обычных генераторов и снижая расход топлива. Это не только приводит к экономии средств, но и сокращает выбросы парниковых газов, делая АГЭУ экологически чистой альтернативой.

Кроме того, АГЭУ обеспечивают повышенную устойчивость к энергопотреблению. За счет диверсификации источников энергии они могут снизить риск перебоев в подаче электроэнергии и обеспечить непрерывное электроснабжение даже при экстремальных погодных явлениях или отказах оборудования. Гибкость АГЭУ позволяет им переключаться между источниками энергии в зависимости от доступности,

стоимости и конкретных требований, обеспечивая большую адаптивность к изменяющимся условиям.

На отдельных объектах АГЭУ доказали свою эффективность в обеспечении устойчивости к стихийным бедствиям и сценариях реагирования на чрезвычайные ситуации. Во время стихийных бедствий АГЭУ могут обеспечивать критически важным питанием основные службы, такие как больницы, убежища скорой помощи и сети связи. Сочетание ВИЭ и СНЭ обеспечивает непрерывное энергоснабжение, позволяя критически важным объектам восстанавливаться быстрее и эффективнее.

Приведенные проекты демонстрируют успешное внедрение АГЭУ в различных условиях, начиная от изолированных поселков или отдаленных островных территорий и заканчивая военными базами и эксклюзивными курортами. Интеграция ВИЭ, передовых систем хранения и интеллектуального управления энергопотреблением позволяет АГЭУ обеспечивать надежное и устойчивое энергоснабжение, что в дальнейшем способствует энергетической безопасности и переходу к более чистой энергетике будущего.

### Список литературы

1. Бердников Р., Холкин Д., Чаусов И. Оптимизация систем энергоснабжения удаленных и изолированных территорий за счет управления энергетической гибкостью // Энергетическая политика. 2023. № 1. С. 94–106.
2. Аналитический доклад Правительства РФ Объекты генерации в изолированных и труднодоступных территориях в России // Аналитический центр при Правительстве РФ, 2020. [Электронный ресурс]. URL: [https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/analitika/генерации\\_в\\_ИТТ.pdf?ysclid=wdvpuz8zh955302062](https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/analitika/генерации_в_ИТТ.pdf?ysclid=wdvpuz8zh955302062) (дата обращения: 20.04.2024).
3. Мокаев А.Р., Носков М.Ф., Курленко К.П. Перспективность использования гибридных энергетических комплексов на базе возобновляемых источников энергии // Успехи современного естествознания. 2023. № 7. С. 97–102. DOI: 10.17513/use.38077.
4. Василевский Н.С., Кувалдин А.Е., Жорнова О.Н., Филипповский 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.
5. Жукова Е.С., Бык Ф.Л., Мышкина Л.С. Условия создания гибридных микрогридов в ЕЭС России // Энергетика и энергосбережение: теория и практика Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2020. С. 221–226.
6. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2015. 128 с.
7. Горбенко А.В. Системный подход в методологии обоснования развития электроэнергетического комплекса при освоении новых рынков // Финансовые рынки и банки. 2023. № 11. С. 151–155.