

# АВТОНОМНЫЕ ГИБРИДНЫЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ НА БАЗЕ ВИЭ ДЛЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

**Степанов Д.С.**, заместитель генерального директора, ООО «Альтрэн»

*В статье рассмотрены вопросы, связанные с возможностью применения возобновляемых источников энергии, интеграции ВИЭ с дизельной генерацией, возможные схемы создания автономных гибридных энергосистем, включающие ВИЭ, а также вопросы экономической эффективности применения ВИЭ для энергоснабжения изолированных и труднодоступных территорий.*

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, ВИЭ, автономные гибридные энергосистемы, АГЭС, автономная генерация, изолированные и труднодоступные территории.

## АВТОНОМНЫЕ ГИБРИДНЫЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ НА БАЗЕ ВИЭ ДЛЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

**Степанов Д.С.**

*В статье рассмотрены вопросы, связанные с возможностью применения возобновляемых источников энергии, интеграции ВИЭ с дизельной генерацией, возможные схемы создания автономных гибридных энергосистем, включающие ВИЭ, а также вопросы экономической эффективности применения ВИЭ для энергоснабжения изолированных и труднодоступных территорий.*

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, ВИЭ, автономные гибридные энергосистемы, АГЭС, автономная генерация, изолированные и труднодоступные территории.

Современное развитие технологий в электроэнергетике ставит перед нами не столько вопросы о необходимости применения инновационных решений, сколько о решениях, позволяющих гармонично, без ущерба безопасности и экономике, внедрить инновации в жизнь. Это касается и возобновляемых источников энергии (ВИЭ), особенно в изолированных и труднодоступных территориях (ИТТ).

Около 2/3 территории нашей страны не подключены к единой энергосистеме. В марте 2020 года Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации подготовил доклад «Объекты генерации в изолированных и труднодоступных территориях в России», в котором отмечено, что «элек-

троэнергетика в ИТТ в России характеризуется ростом производственных издержек и себестоимости производимой электроэнергии, что вызвано прежде всего моральным и физическим устареванием используемого оборудования и технологий, а также увеличением цен на привозное топливо для электростанций (их рост наблюдается от сравнительно высокой базы, что объясняется расположением таких территорий и климатическими условиями). Установление приемлемых тарифов на электроэнергию в ИТТ для населения и рост экономически обоснованных тарифов вызывают планомерное увеличение объема бюджетного субсидирования для компенсации разницы между ними на уровне регионов. Проблема

может быть частично решена путем модернизации генерирующих объектов за счет, в том числе, объектов ВИЭ-генерации, в результате которой будет обеспечено снижение объема бюджетного субсидирования и рост надежности электроснабжения потребителей в ИТТ».

Основной вид генерации в ИТТ – дизельная генерация (ДЭС). Суммарная мощность ДЭС составляет 840 МВт, и это без учета генерации, принадлежащей компаниям, добывающим полезные ископаемые на этой территории, военные объекты и ДЭС, обеспечивающие инфраструктурные объекты. Стоимость выработки 1 кВт·ч на ДЭС в ИТТ доходит до 200 руб. Средневзвешенное значение удельного расхода топлива на выработку 1 кВт·ч по всем объектам генерации в ИТТ в России составляет 476 г у. т./кВт·ч при стоимости топлива от 40 до 60 тыс. руб. за тонну. В августе 2019 года Д. Козаком был подписан План по модернизации неэффективной дизельной (мазутной, угольной) генерации в ИТТ, в рамках которого необходи-

мо разработать мероприятия, результатом которого будет снижение перекрестного субсидирования. По данным РОИВ, общий размер субсидий на компенсацию выпадающих доходов по всем ИТТ Российской Федерации в 2018 году составил 20 млрд руб.

Максимальный эффект в части снижения затрат на энергоснабжение возможен за счет частичного перехода с дизельной генерации на возобновляемые источники энергии с переходом к автономным гибридным энергосистемам (АГЭС). Основным вопросом – взаимодействие различных видов генерации с повышением надежности и качества энергоснабжения, который решается верхним уровнем АГЭС.

Типовая схема энергоснабжения представлена на схеме 1.

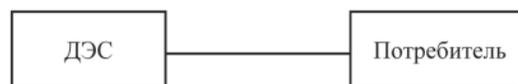


Схема 1

**ООО «Альтрэн» (г. Ульяновск, Россия)** – проектная компания и резидент Ульяновского наноцентра ULNANOTECH, создана в 2015 г. Ключевая специализация компании – ветроэнергетика. Занимается интеграцией проекта по созданию кластера альтернативной энергетике и энергосберегающих технологий в Ульяновской области, с внедрением лучших мировых достижений в этой области энергетике.

Ульяновский наноцентр ULNANOTECH (г. Ульяновск, Россия) – входит в инвестиционную сеть нанотехнологических центров Фонда инфраструктурных и образовательных программ Группы РОСНАНО. Занимается инвестированием и сопровождением технологического предпринимательства на ранних стадиях, поиском технологий, созданием и продажей технологических стартапов. Имеет статус технопарка высоких технологий.

Пять лет назад команда Ульяновского наноцентра и ее дочерняя компания «Альтрэн» принимали активное участие в становлении новой для страны отрасли – ветроэнергетики. Результатом совместных усилий группы РОСНАНО, федеральных и местных органов власти и институтов развития стало появление в Ульяновске первого в России коммерческого ветропарка «Фортум» мощностью 35 МВт.

В конце 2018 года наноцентр совместно с РОСНАНО и Vestas запустили в Ульяновской области совместное предприятие по производству композитных лопастей для турбин ветроэнергетических установок мощностью от 3,6 до 4,2 МВт. К 2021 году ежегодный объем выпуска продукции достигнет 500 лопастей ВЭУ. Объем инвестиций составил более 2 млрд руб., создано 380 рабочих мест.

Сеть переменного тока, ДЭС задает частоту сети, напряжение. Синхронизация ДГУ между собой находится в контуре ДЭС.

Интеграция ВИЭ в такую сеть возможна несколькими способами, которые зависят от уровня замещения ДГУ:

1. Низкий уровень замещения. Доля ВИЭ по мощности менее 50%, по выработке менее 20%. В данном варианте мы остаемся в стандартной схеме и не переходим на АГЭС. ДЭС работает постоянно. Работа ВИЭ снижает нагрузку на ДЭС, ВИЭ участвует в покрытии основной нагрузки. Фактически АСУ не требуется. При таком варианте экономия дизельного топлива не существенная и может не привести к окупаемости строительства генерации ВИЭ.

2. Средний уровень замещения. Доля ВИЭ 50–100% по мощности и от 20 до 50% в выработке электроэнергии. При таком варианте ДЭС работает постоянно, с возможным отключением в пики выработки ВИЭ. При высоком уровне выработки ВИЭ подключаются вторичные нагрузки (накопители, контур обогрева, балластная нагрузка). Требуется относительно простая АСУ. Экономия топлива уже существеннее, но и возможны потери э/э из-за излишней выработки ВИЭ.

3. Высокий уровень замещения. Доля ВИЭ по мощности составляет от 100 до

400%, по выработке – от 50 до 150% от потребления. ДЭС становится резервным источником генерации. Необходимы дополнительные решения для поддержания уровней частоты и напряжения. Требуется интеллектуальная АСУ.

Варианты интеграции ВИЭ.

4. Для систем с низким и средним уровнем замещения.

Наиболее распространенный вариант, когда каждый отдельный источник генерации ВИЭ имеет отдельное подключение к сети, представлен на схеме 2.

Управлять такой системой сложно, излишняя выработка от ВИЭ может привести к переходу работы ДЭС в неэффективные режимы, что предотвращается отключением генерации ВИЭ.

5. Для систем со средним и высоким уровнем замещения.

Наиболее популярной схемой подключения ВИЭ в таких системах является вариант, представленный на схеме 3.

В этом случае параметры сети задает ДЭС, но все виды генерации ВИЭ, а также накопители подключены через один инвертер, и при значительной мощности накопителей энергии излишнюю выработку можно сохранять, повышая эффективность системы.

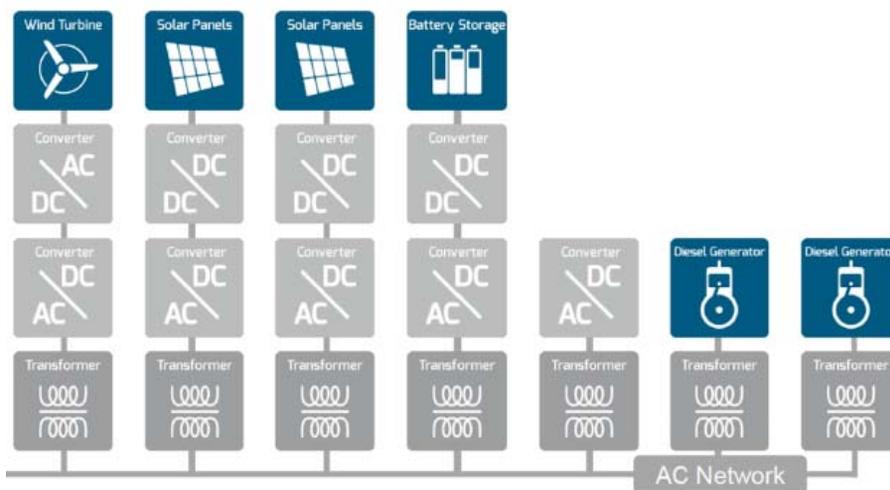


Схема 2

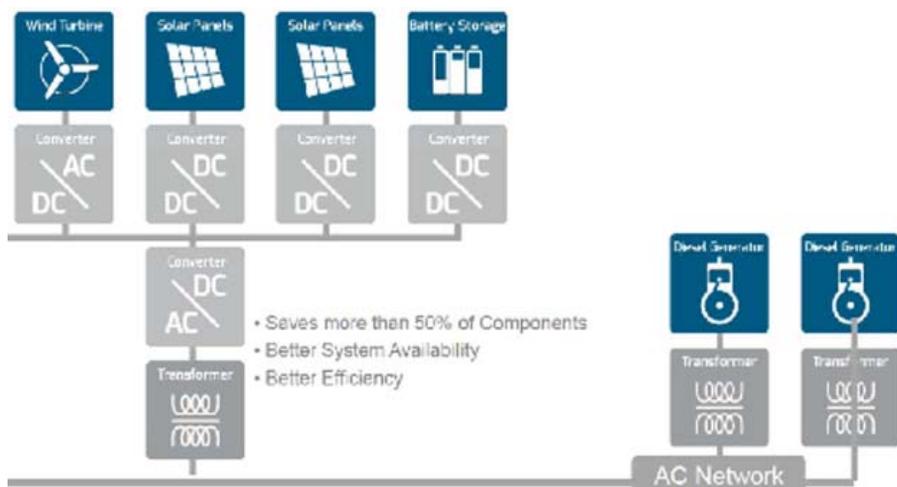


Схема 3

Но на наш взгляд, наиболее оптимальная схема интеграции ВИЭ заключается в создании единой системы (полноценная АГЭС) с объединением всех видов генерации по постоянному току. И в своей работе компания «Альтрэн» предлагает своим клиентам именно такую схему, базирующуюся на решениях немецкой инженерно-производственной компании Freqcon. Схема АГЭС представлена на схеме 4.

При такой схеме АГЭС достигается максимальный эффект экономии топлива, создается единая система управления генерацией, есть возможность максимально эффективно использовать все виды

генерации в пиковой работе за счет подключения к тепловой генерации. Верхний уровень такой системы представлен MSC-преобразователем.

**MSC-преобразователь** представляет собой гибридный преобразователь энергии на основе Multi Source Concept и доступен в диапазоне мощности от 20 кВт до 2,0 МВт. К источнику постоянного тока силового преобразователя могут быть подключены несколько источников энергии (фотоэлектрическая система, ветряная турбина, дизельный генератор), что снижает затраты на установку и обеспечивает более высокий уровень интеграции

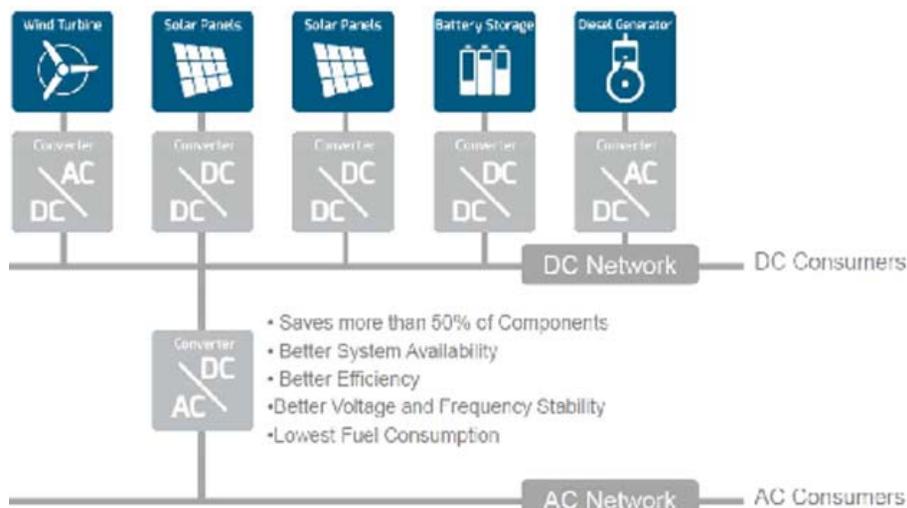


Схема 4

системы в проектах микросетей. В то же время различные технологии накопления энергии, такие как литий-ионные, свинцово-кислотные или окислительно-восстановительные батареи, могут быть подключены параллельно и повышают эффективность системы. Преобразователь **MSC** помогает обеспечить стабильное и бесперебойное электроснабжение изолированных сетей с высоким качеством электроэнергии.

Значительный многолетний опыт наших партнеров по таким решениям позволяет с уверенностью заявлять, что на текущий момент это самое оптимальное техническое решение в части надежности и качества энергоснабжения.

Так как автономная гибридная энергосистема включает генерацию ВИЭ, то возникает резонный вопрос экономической эффективности таких решений. Выработка ВИЭ напрямую зависит от природно-климатических условий, и для получения положительного экономического эффекта необходимо провести значительную предварительную работу по оценке ветрового потенциала (кабинетными или натурными исследованиями), оценить уровень солнечного потока, оценить затраты на строительство, логистику и самое сложное – подобрать оптимальное соотношение ветровой, солнечной, дизельной генерации и накопителей энергии.

Имея данные ветрового потока, солнечной активности, графика нагрузки, необходимо провести расчеты выработки ВИЭ с учетом работы накопителей исходя из их емкости, наложить эти данные на график нагрузки и рассчитать нехватку электроэнергии, которая должна покрыться работой ДЭС, и с учетом стоимости оборудования и строительства, рассчитать оптимальный состав решения для минимизации себестоимости выработки 1 кВт·ч. Необходимо отметить, что максимальная выработка от ветровой генерации приходится на осенний, зимний и весенний периоды, а максимальная выработка от солнечной генерации – на весенний и летний периоды. Следовательно, эти виды генерации гармонично дополняют друг друга, если они подобраны в оптимальном соотношении и использованы соответствующие инверторы и АСУ АГЭС.

В результате моделирования можно получить графики режимов работы ветро- и солнечной генерации, накопителей энергии и ДГУ. Например, для действующей ДЭС мощностью 420 кВт и годовой выработкой около 650 тыс. кВт·ч было подобрано решение, состоящее из 95 кВт ВЭУ, 260 кВт СЭС, ДГУ мощностью 140 кВт и накопителями емкостью 250 кВт·ч.

Выработка ВЭС: 278 тыс. кВт·ч, или около 43% в общем объеме выработки. График режима работы ВЭС представлен на рис. 1.

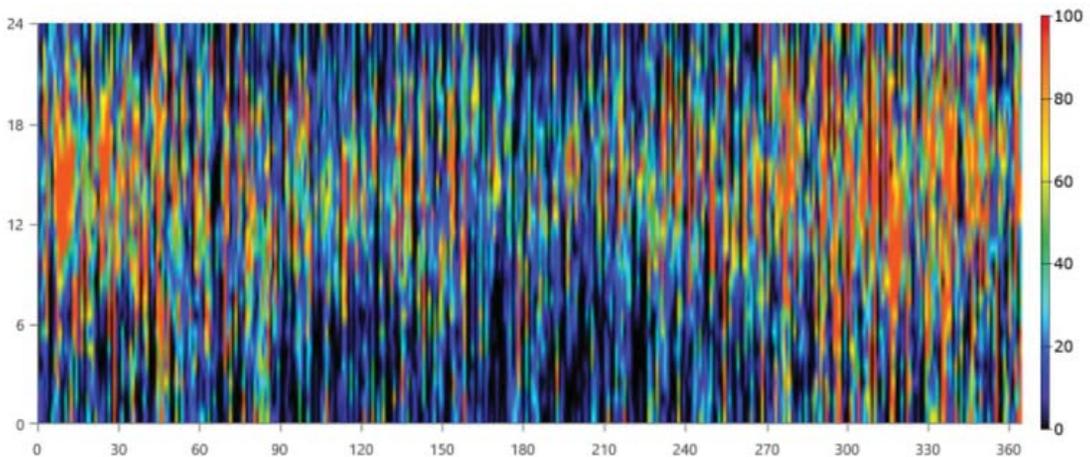


Рис. 1

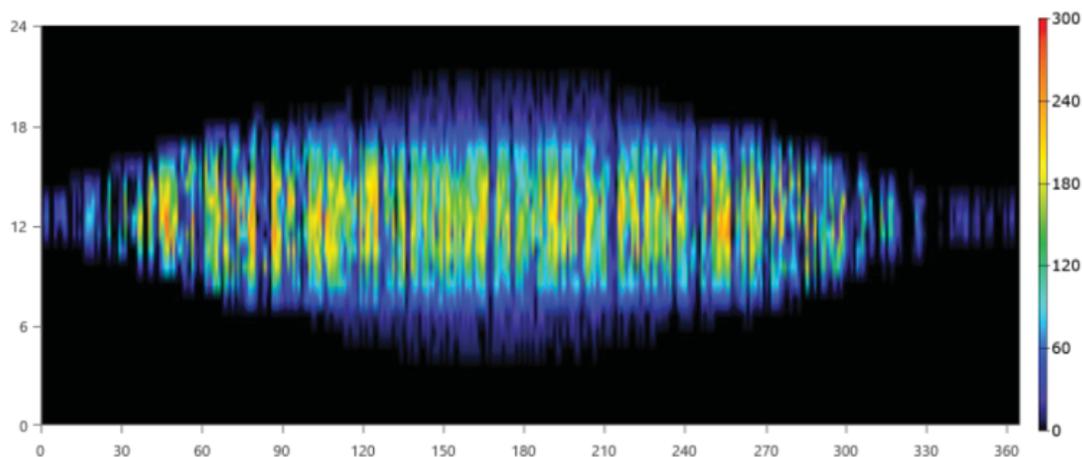


Рис. 2

Выработка СЭС: 277 тыс. кВт\*ч, или 43 % в общем объеме выработки. График режима работы СЭС представлен на рис. 2.

Выработка ДГУ: 89 тыс. кВт\*ч, или 14 %. График режима работы ДГУ представлен на рис. 3.

График режима работы накопителей (%) представлен на рис. 4.

Годовое потребление топлива: 32,5 т.

Годовая экономия топлива: 180 т.

Касательно наиболее оптимальных районов использования ВИЭ, наш опыт говорит о том, что ветровую генерацию целесообразно использовать там, где среднегодовая скорость ветра на оси ветрогенератора составляет не менее 5,5–6 м/с, это значительная часть ИТТ: все побережье России на значительную глубину от

берега, в т.ч. и Арктика, территория Дальнего Востока, острова. Солнечная генерация в основном эффективна и целесообразна на территории ниже 65° с.ш., за исключением Якутии.

Если перейти к финансовым показателям, то в каждом конкретном случае необходимо делать отдельные расчеты, так как каждый поселок уникальный, со своим ветровым и солнечным потенциалом, со своей логистической доступностью, строительными возможностями и т.д. В качестве ориентира можно привести оценочную стоимость строительства 1 кВт установленной мощности ветровой генерации от 350 до 500 тыс. руб. КИУМ (коэффициент использования установленной мощности) ветроустановки при ско-

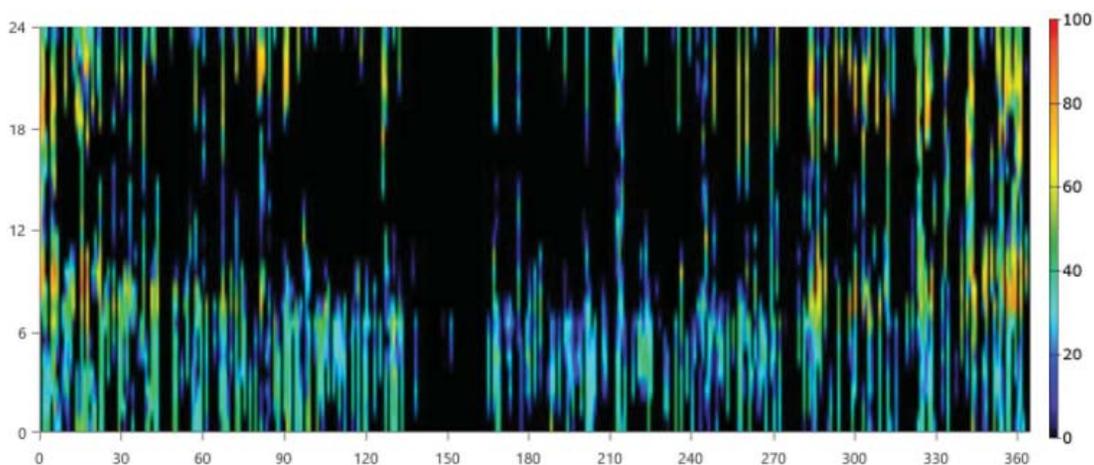


Рис. 3

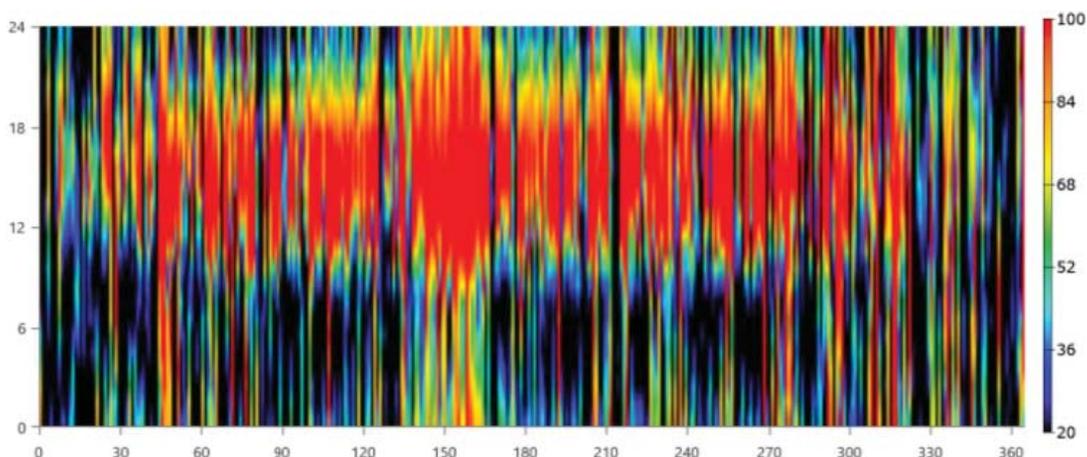


Рис. 4

ростях ветра от 6 м/с варьируется от 30 до 45%. Срок службы оборудования составляет 20–25 лет при надлежащем сервисе. Следовательно, LCOE 1 кВт·ч от ветроустановки при скоростях ветра выше 6 м/с варьируется от 10 до 20 руб. с учетом сервиса. Расчеты по себестоимости выработки от солнечной генерации приводят практически к таким же показателям – 10–20 руб. КИУМ СЭС варьируется от 12 до 17%, но капитальные затраты составляют от 120 до 220 тыс. руб. за 1 кВт установленной мощности.

Нефтегазовые и другие добывающие компании, имеющие на своем балансе ДЭС, могут рассчитывать свои проекты исходя из всего срока службы оборудования АГЭС, тем более, строя генерацию ВИЭ, они снижают свой углеродный след, который так активно обсуждают во всем мире, а также повышают свою социальную и экологическую ответственность. К сожалению, в России нефтегазовый сектор пока не проявляет большую активность в этом вопросе, но, на наш взгляд, это наиболее недооцененный сегмент рынка для развития ВИЭ.

Если же брать ДЭС, задействованные для энергоснабжения населенных пунктов, то ситуация с экономикой здесь интереснее. Как уже было сказано выше, себестоимость выработки 1 кВт·ч на ДЭС в ИТТ варьируется от 30 до 200 руб. Су-

ществующая нормативная база дает возможность частным инвесторам заходить в проекты в ИТТ с генерацией ВИЭ, обеспечивая возврат инвестиций по энерго-сервисному контракту (ЭСК) через экономию топлива. Т.е. полученная экономия от снижения потребления дизтоплива будет направляться инвестору в течение срока действия ЭСК. Топливная составляющая в тарифе варьируется от 35 до 70%. По нашим данным, с учетом того, что срок действия ЭСК значительно меньше срока службы оборудования, с учетом высокой стоимостью заемных денежных средств и требованиями к IRR проекта не ниже 15–20%, экономически привлекательными для инвестирования в строительство АГЭС являются около 20% всех объектов. Так как по окончании действия ЭСК объект генерации переходит в собственность владельцу ДЭС, с учетом уже компенсированных затрат на строительство генерации ВИЭ, то фактически себестоимость 1 кВт·ч будет складываться из стоимости сервисных работ и составит от 1 до 3 руб. на протяжении 10–15 лет. На наш взгляд, данные расчеты наглядно показывают, что если в ходе работы над Планом по модернизации дизельной генерации будут предусмотрены субсидии, в т.ч. на компенсацию части капитальных затрат, рассчитанные исходя из всего срока службы оборудования (20–25 лет) и стоимости

выработки 1 кВт·ч в пределах 1–3 руб. после окончания инвестиционного проекта, то количество экономически привлекательных проектов значительно увеличится, и можно будет говорить о создании нового направления в энергетике.

В заключение можно добавить, что последние тенденции показывают, что даже значительное падение цен на сырую нефть не влечет снижения стоимости дизтоплива. Следовательно, затраты на энергоснабжение в ИТТ будут только возрастать, что нельзя сказать о тенденциях на стоимость

оборудования ВИЭ и стоимости накопителей энергии. Как показывают отчеты, мировые цены на генерацию ВИЭ продолжают снижаться, делая это направление все более экономически целесообразным и привлекательным, в т.ч. и для потребителей, уже подключенных к сети, но желающих сократить свои затраты на электроэнергию. Здесь тоже намечается тенденция на спрос таких решений, тем более, что для центральной части России стоимость строительства под ключ сетевых решений будет значительно ниже.



### ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР УПРАВЛЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ



На правах рекламы

подписные индексы



82715



П7311

## ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ

<http://panor.ru/ge>

**В каждом номере:** материалы, необходимые для повседневной деятельности технического руководства промпредприятий; антикризисное управление производством; поиск и получение заказов; организация производственного процесса; принципы планирования производства.

**Наши эксперты и авторы:** **Афанасьев Ф.И.**, главный инженер Стерлитамакского ОАО «Каустик»; **Луценко А.Н.**, техн. директор Череповецкого металлургического комбината ОАО «Северсталь», канд. техн. наук; **Цепилов А.В.**, техн. директор ОАО «Завод «Красное Сормово»; **Воробей С.А.**, главный инженер Гурьевского метзавода; **Гапанович В.А.**, вице-президент, главный инженер ОАО «РЖД»; **Томарев Г.И.**, главный инженер Волгоградского металлургического завода «Красный Октябрь»; **Гребенщиков А.А.**, главный инженер Воронежского механического завода; **Викалюк А.Д.**, техн. директор Копейского машиностроительного завода; **Немцов И.Ю.**, главный инженер компании «Термопол-Москва», другие ве-

дущие специалисты и топ-менеджеры промышленных предприятий, а также технические специалисты ассоциаций и объединений, промышленных предприятий, ученые, специалисты в области управления производством.

Издается при информационной поддержке Российской инженерной академии и Союза машиностроителей.

**Ежемесячное издание.**

**Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.**

### ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Управление производством
- Антикризисный менеджмент
- Реконструкция и модернизация производства
- Передовой опыт
- Новая техника и оборудование
- Инновационный климат
- Стандартизация и сертификация
- IT-технологии
- Промышленная безопасность и охрана труда

Для оформления подписки через редакцию пришлите заявку в произвольной форме по адресу электронной почты [rodписка@panor.ru](mailto:rodписка@panor.ru) или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).