

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИБРИДНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

А.В. Новых¹, И.И. Свириденко², Г.В. Гоголев²

¹ Университет Ла-Лагуна, г. Сан-Кристобаль-де-ла-Лагуна, Испания,

² Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

Рассмотрены особенности функционирования гибридной электростанции для локальной или распределенной энергосистемы. Основной особенностью гибридной электростанции является использование в ее составе традиционных и возобновляемых источников энергии. С увеличением доли возобновляемых источников, характеризующихся непостоянной выработкой электроэнергии в общем балансе ее производства, возникают проблемы регулирования меняющейся нагрузки в сети из-за хаотичного включения и отключения потребителей. С целью активного управления нагрузкой в электрической сети с гибридной электростанцией для стабилизации ее работы и повышения эффективности локальной энергетической системы выполнен анализ реализации технологии виртуальной электростанции, заключающийся в управляемом подключении и отключении активных потребителей. Такая технология позволяет оптимизировать совместную работу децентрализованных генераторов электроэнергии различного типа и потребителей. Возможность реализации подобной технологии управляемого подключения и отключения активных потребителей продемонстрирована на примере решения задачи стабилизации работы гидравлических турбин и насосов гидроаккумулирующей станции и снижения расхода топлива дизельгенераторов гибридной электростанции Gorona del Viento (остров Эль-Йерро, Канарский архипелаг). Проанализированы различные алгоритмы управления такой виртуальной электростанцией. Показана возможность эффективного применения виртуальной электростанции для оптимизации совместной работы большого количества децентрализованных генераторов электроэнергии и потребителей, что в конечном итоге позволяет активно управлять нагрузкой в электрической сети и обеспечить эффективность локальной энергетической системы.

Ключевые слова: гибридная электростанция, виртуальная электростанция, алгоритм управления нагрузкой в сети, активный потребитель, аккумулятор тепловой энергии.

Введение

Активное управление потребителями электрической энергии позволяет оптимизировать ее использование на всех уровнях энергетической системы. Появившиеся благодаря широкому распространению цифровизации и успешно развивающиеся новые технологии, такие как «умный дом», «умный город», «виртуальная электростанция», «умная розетка», в конечном итоге должны обеспечить повышение эффективности всей энергосистемы. И если технологии «умного дома», «умного города» или «умной розетки» позволяют оптимизировать энергопотребление конкретного объекта и сократить его энергопотери, то «виртуальная электростанция» (Virtual Power Plant – VPP) обеспечивает оптимизацию совместной работы большого количества децентрализованных генераторов электроэнергии и потребителей, что в конечном итоге позволяет активно управлять нагрузкой в электрической сети.

Главной причиной изменения во времени нагрузки в электрической сети является хаотичное включение и отключение потребителей. Дополнительный вклад в колебания в сети вносят возобновляемые источники энергии (ВИЭ) с непостоянной выработкой электроэнергии. Если доля использования ВИЭ в общем балансе производства электрической энергии является существенной, то это

приводит к определенным сложностям и дополнительным потерям в энергетической системе [1].

Максимальной эффективности в работе энергетической системы можно достичь только путем выравнивания во времени нагрузки в электрической сети. Особо остро стоит проблема выравнивания нагрузки в гибридных электростанциях, которые объединяют в себе традиционные и альтернативные источники энергии [2]. Использование гибридных электростанций позволяет повысить эффективность локальных энергосистем [3], а также распределенных энергосистем, в первую очередь малых распределенных энергосистем, предусматривающих создание в непосредственной близости от потребителя электростанций малой и средней мощности, использующих ВИЭ [4, 5].

Применение виртуальной электростанции в составе гибридной электростанции с активными потребителями дает возможность значительно выровнять нагрузку в сети и, как следствие, существенно повысить эффективность гибридной энергетической системы в целом. Большинство современных активных потребителей – холодильных машин, центральных кондиционеров, электрических водонагревателей и водогрейных котлов способны накапливать тепловую энергию и отключаться от электрической сети на непродолжительное время без ущерба для выполнения своих ос-

новых функций и больших потерь. Поэтому, имея в составе потребителей такие активные потребители с возможностью аккумулирования энергии, можно управлять потреблением электроэнергии в сети путем подключения и отключения этих потребителей в зависимости от нагрузки.

Другим эффективным способом выравнивания нагрузки в сети является аккумулирование электрической энергии в период ее избытка с помощью специальных аккумулирующих систем, используя накопленную энергию в пиковый период. К сожалению, существующие технологии аккумулирования электроэнергии являются дорогостоящими и низкоэффективными. Наиболее перспективной для решения этой задачи является технология гидроаккумулирования, но ее реализация требует больших капитальных затрат. Кроме того, при каждом цикле зарядки и разрядки гидроаккумулирующей станции потери электрической энергии составляют более 30 %.

Цель статьи – анализ технологии виртуальной электростанции с помощью управляемого подключения и отключения активных потребителей для оптимизации совместной работы децентрализованных генераторов электроэнергии различного типа и потребителей. Решение этой задачи позволит реализовать возможность активного управления нагрузкой в электрической сети гибридной электростанции для стабилизации ее работы и повышения эффективности локальной энергетической системы.

Назначение, состав и особенности виртуальной электростанции

Термин «виртуальная электростанция» (VPP) стал применяться сравнительно недавно, поэтому в научной литературе пока отсутствует четкое и однозначное его определение. Виртуальную электростанцию следует рассматривать как высокотехнологичную систему интеграции распределенной генерации, потребления с управляемой нагрузкой, а также аккумулирования энергии для участия в рынке электроэнергии, оказания системных услуг и резервирования. Основная цель виртуальной электростанции – повышение эффективности энергетической системы в целом, а не отдельных ее элементов. Хотя последнее не исключается для локальных энергосистем [6].

В ряде публикаций VPP рассматривается как цифровое сообщество децентрализованных генераторов, использующих в основном возобновляемые источники энергии: биогаз, ветроэнергетику, солнечные и гидроэлектростанции и т. п. [7]. Некоторые разработчики к генераторам электрической энергии добавляют еще децентрализованные аккумуляторные батареи, которые обеспечивают накопление электроэнергии в определенные промежутки времени [8]. Другие – к уже перечисленным элементам добавляют активные потребители,

которые могут быть включены или отключены по команде из единого информационного центра [9, 10]. Основная особенность VPP заключается в возможности осуществлять дистанционное управление энергопотоками с помощью современных программных систем, предоставляющих конечному пользователю данные, необходимые для принятия решения, а также возможность быстро реагировать на постоянно меняющуюся нагрузку [11, 12].

В состав современных гибридных электростанций входят следующие элементы: генераторы электроэнергии с использованием ВИЭ, как правило, ветра или солнца, система аккумулирования энергии и электрогенератор с тепловым двигателем. Последний выполняет две функции: обеспечивает стабильное энергоснабжение в период снижения эффективности или полного отсутствия ВИЭ и обеспечивает компенсацию резких колебаний нагрузки в сети.

Компенсировать колебания нагрузки в сети можно и с помощью системы аккумулирования энергии, однако это не всегда возможно и экономически целесообразно. Современные технологии аккумулирования энергии обладают определенной инерционностью, что не позволяет обеспечить быстрое изменение мощности генерации. К тому же в некоторых случаях использование аккумулирования приводит к большим потерям электрической энергии [13]. Особенно это характерно для систем гидроаккумулирования [14].

Гибридная электростанция Gorona del Viento и анализ возможности создания VPP на Канарском острове Эль-Йерро

Одним из наиболее характерных примеров современной гибридной электростанции является электростанция Gorona del Viento, расположенная на острове Эль-Йерро (El Hierro, Канарские острова, Испания). Схема этой электростанции изображена на рис. 1. В ее состав входят пять ветрогенераторов, имеющих максимальную установленную мощность 2,3 МВт каждый, гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС) с верхним водоемом в 380 000 куб. м, расположенным на высоте 709,5 м, и нижним – в 150 000 куб. м на отметке 50 м (что соответствует ~ 50 МВт·ч запасаемой энергии – примерно половине дневного потребления острова), а также дизельная электростанция мощностью 11,4 МВт для покрытия пиковых нагрузок [15]. Мощность этой гибридной электростанции вполне достаточна для острова с населением чуть больше 10 тыс. человек и площадью 268,71 кв. км. Электростанция введена в строй осенью 2014 г. и после тестирования в июне 2015 г. полностью обеспечивает энергоснабжение острова.

Вся информация о работе основных элементов электростанции Gorona del Viento оцифровывается и передается в режиме реального времени в единую систему управления Red Eléctrica de

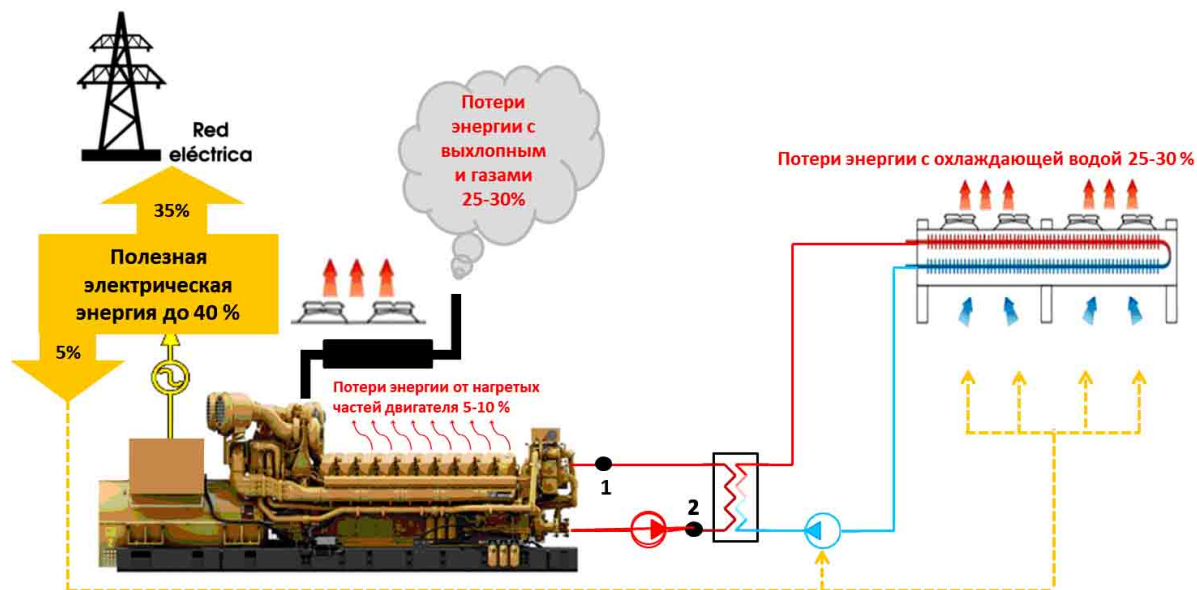


Рис. 1. Дизельгенераторная часть гибридной электростанции Gorona del Viento

Есрафа [16]. Наличие в составе гибридной электростанции подобной информационной системы позволяет сформировать виртуальную электростанцию, которая сможет управлять активными потребителями. Это даст возможность сбалансировать нагрузку в электрической сети и тем самым повысить эффективность энергосистемы острова. Кроме того, любой пользователь Интернет сможет непрерывно отслеживать ситуацию в электрической сети острова Эль-Йерро [17].

Для анализа возможности создания VPP на острове Эль-Йерро проанализируем характерный график работы дизельгенераторов электростанции Gorona del Viento в течение 4 суток: 19–22 августа 2018 г. (рис. 2). 19.08.2018 на острове был сильный ветер и активно работали ветрогенераторы с отбором мощности насосами ГАЭС. 20.08.2018 характеризовался смешанным режимом работы ветрогенераторов, турбин ГАЭС и дизельгенераторов.

21.08.2018 работали в основном дизельгенераторы, частично – ветрогенераторы и турбины ГАЭС. 22.08.2018 – в основном работали дизельгенераторы. Как видно из графика, мощность дизельгенераторов постоянно меняется во времени, что вызвано изменениями нагрузки в электрической сети. Такой режим работы дизельных двигателей приводит к дополнительным потерям топлива, снижая эффективность всей электростанции.

Рассмотрим в качестве двигателей дизельгенераторов электростанции Gorona del Viento современные двигатели Caterpillar 3512A, которые в основном режиме имеют номинальную мощность 965 кВт. Для обеспечения пиковой нагрузки острова потребуется параллельная работа двух таких двигателей. Как видно из графиков (рис. 3, 4), с падением нагрузки дизельгенераторов их эффективность падает, а удельный расход топлива возрастает. Чем больше отклонение от номинальной

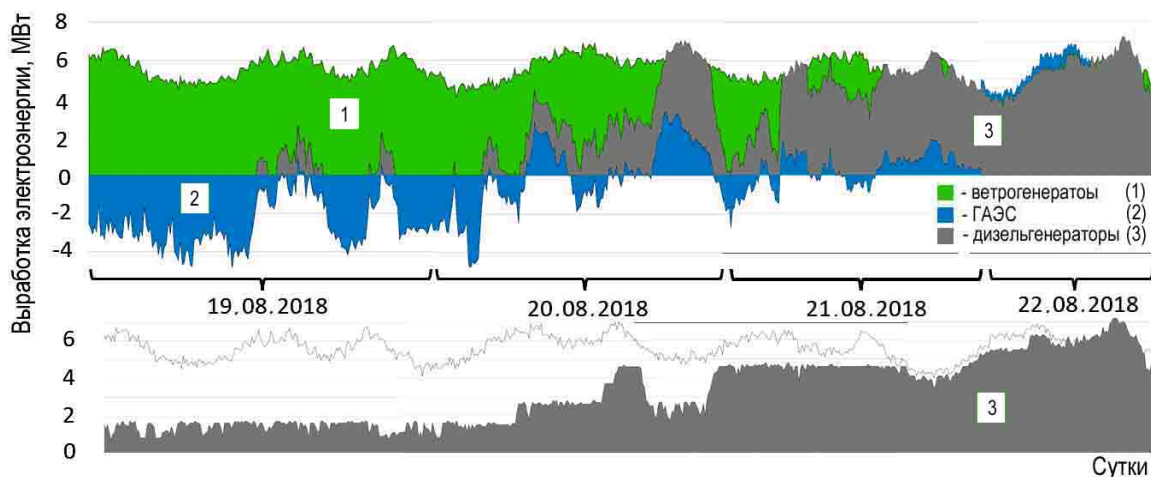


Рис. 2. График работы электростанции Gorona del Viento в течение 4 дней августа 2018 г.

Альтернативные источники энергии

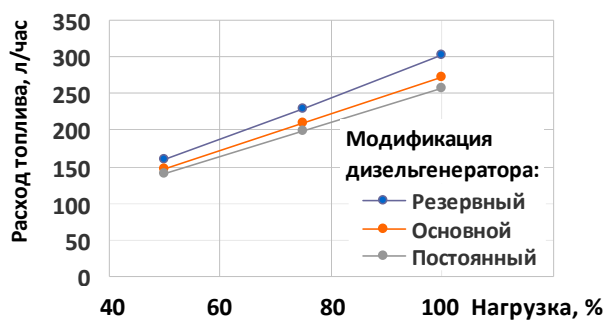


Рис. 3. Изменение расхода топлива двигателя Caterpillar 3512A в зависимости от его модификации и нагрузки

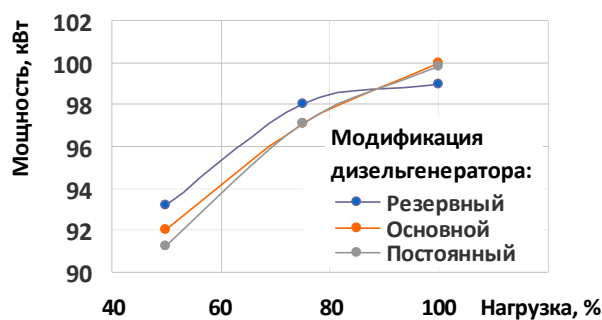


Рис. 4. Потери мощности при изменении нагрузки дизельгенераторов Caterpillar 3512A

мощности, тем выше удельный расход топлива на единицу мощности.

Из-за колебаний нагрузки дизельгенераторов (рис. 5) перерасход топлива по сравнению с расходом топлива на номинальном режиме составил 514 л/сут на оба двигателя или 257 л/сут на каждые 1 МВт мощности двигателя. Таким образом, при работе дизельгенераторов электростанции Gorona del Viento на полную мощность 22.08.2018 (см. рис. 2) суммарный перерасход топлива составит более 1800 л дизельного топлива в сутки.

Снизить столь большие потери дизельного топлива можно двумя способами. Первый способ заключается в установке большого количества дизельгенераторов малой единичной мощности, примерно, по 200–300 кВт. Каждый двигатель будет работать на номинальном режиме, а изменение нагрузки в электрической сети можно регулировать путем отключения определенного количества двигателей. Чем меньше единичная мощность двигателя, тем более плавное регулирование мощно-

сти можно обеспечить. Такой путь технически возможен, но экономически нецелесообразен.

Второй способ заключается в создании ВРР с небольшими аккумуляторами энергии и использованием активных потребителей. Суть этого способа состоит в том, что дизельгенератор работает на постоянном уровне мощности, причем эта мощность может изменяться в определенном диапазоне в зависимости от прогноза колебания нагрузки в сети (синяя линия на рис. 6).

Если нагрузка в сети повышается, то начинается постепенное отключение активных потребителей («зона отключения активных потребителей» на рис. 6). Если же нагрузки в сети снижаются, то активные потребители включаются («зона включения активных потребителей» на рис. 6). Тем самым нагрузка в электрической сети остается постоянной, что обеспечивает оптимальную и эффективную работу дизельгенераторов.

В качестве активных потребителей для такой ВРР лучше всего подходят холодильные машины,

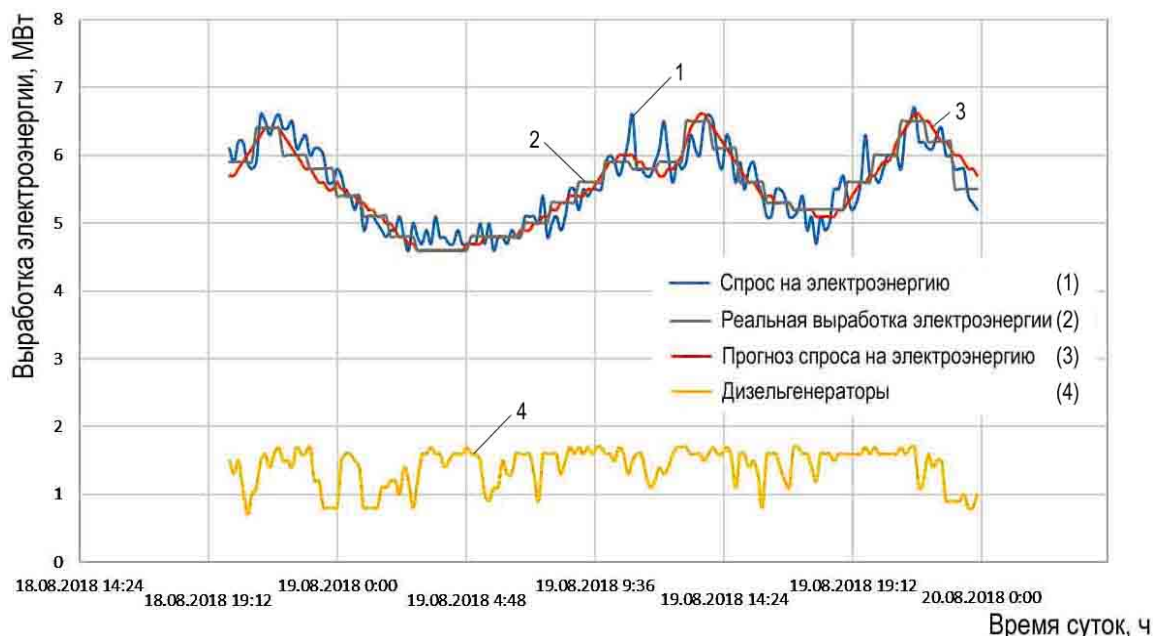


Рис. 5. График работы электростанции Gorona del Viento 19.08.2018

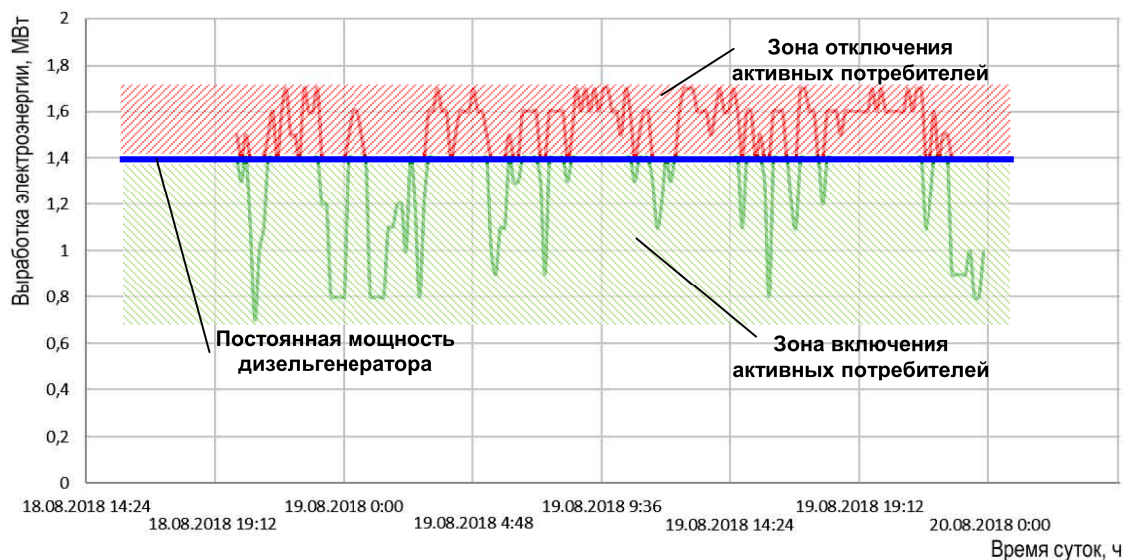


Рис. 6. График работы виртуальной электростанции с учетом активных потребителей

в первую очередь инверторные, позволяющие плавно менять свою мощность. Следует отметить, что в составе самой электростанции Gogona del Viento уже есть элементы, которые могут быть использованы для выравнивания нагрузки в сети. Например, охлаждение дизельгенераторов осуществляется с помощью сухих градирен (см. рис. 1), теплоотвод от которых осуществляется электрическими вентиляторами. Для отвода в атмосферу тепловой энергии от системы охлаждения и утилизационного контура двигателя мощностью, примерно, 1 МВт требуется суммарная мощность вентиляторов, не менее 50 кВт, для двух дизельгенераторов, соответственно, 100 кВт. Если в системе охлаждения дизельгенераторов (см. рис. 1) между точками 1 и 2 разместить аккумулятор холодной воды с замерзающими элементами и тепловым насосом, то в период пиковой нагрузки можно будет отключать вентиляторы и циркуляционные насосы контура охлаждения без ущерба для работы дизельгенератора.

Принципиальная схема такого аккумулятора холодной воды изображена на рис. 7. Он представляет собой теплоизолированную емкость, заполненную антифризом. Внутри емкости размещаются шарообразные замерзающие элементы, которые повышают аккумулирующую способность всей конструкции. Охлаждение антифриза обеспечивается инверторной холодильной машиной, которая может плавно регулировать холодопроизводительность. Причем для предложенной схемы можно использовать серийно производимые стандартные аккумуляторы холодной воды объемом до 5000 л [18].

Включение подобной группы активных потребителей в состав VPP позволит компенсировать кратковременные скачки нагрузки в пределах 100 кВт путем простого отключения вентиляторов и циркуляционных насосов сухих градирен системы охлаждения дизельгенераторов. При падении нагрузки вентиляторы включаются и компенсируют снижение мощности потребителей до

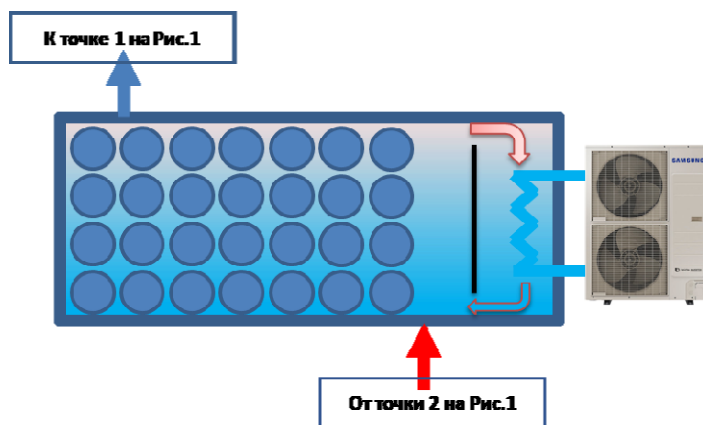


Рис. 7. Аккумулятор холодной воды с шарообразными замерзающими элементами

Альтернативные источники энергии

100 кВт. При дальнейшем падении нагрузки включается тепловой насос и замораживает аккумуляторы холода для последующего использования в системе охлаждения дизельгенераторов.

Еще одна группа активных потребителей в составе VPP может быть сформирована из элементов системы централизованного охлаждения крупных и средних супермаркетов и магазинов. Например, современный средний супермаркет для хранения продуктов питания оснащен морозильными камерами, потребляющими в сутки не менее 200 кВт·ч электрической энергии. Этого уровня потребляемой мощности вполне достаточно для частичной компенсации колебаний нагрузки в сети. Кроме того, в составе VPP могут быть задействованы и бытовые холодильники населения. Хотя их мощность незначительна, они имеются в каждом доме и их достаточно много. По статистическим данным суммарная мощность всех бытовых холодильников составляет не менее 15 % от мощности всех бытовых потребителей [19].

Алгоритмы управления виртуальной электростанцией

Для оптимизации работы гибридной электростанции с помощью VPP могут применяться различные алгоритмы управления. Одни алгоритмы позволяют снизить потери какого-либо из элементов гибридной электростанции, другие – оптимизировать эффективность всего энергетического комплекса. Рассмотрим несколько вариантов таких алгоритмов.

При недостаточной мощности активных потребителей для полного выравнивания нагрузки дизельгенераторов или гидравлической турбины ГАЭС возможна реализация алгоритма «срезания» пиков нагрузки. Суть его заключается в использо-

вании принудительной задержки повышения мощности дизельгенераторов на определенный период времени. Если после такой задержки мощность потребителей продолжает расти, мощность дизельгенератора увеличивается. Если же дальнейшего повышения мощности не происходит, то пик нагрузки срезается.

Применение этого алгоритма управления показано на примере работы двух дизельгенераторов гибридной электростанции Gorona del Viento 19.08.2018 (рис. 8). Принудительная задержка повышения мощности дизельгенераторов на определенный период позволила практически полностью стабилизировать работу первого дизельгенератора на уровне номинальной нагрузки и частично стабилизировать работу второго дизельгенератора, что обеспечило сокращение суточного расхода топлива на 350 л.

Аналогичным образом можно стабилизировать работу гидравлической турбины ГАЭС, что обеспечит повышение ее эффективности.

Возможен и обратный алгоритм, который заключается в принудительном включении активных потребителей в определенные промежутки времени.

Насосы и гидравлические турбины ГАЭС эффективно работают в широком диапазоне нагрузки. Но как только нагрузка на эти элементы снижается до предельного нижнего уровня, их эффективность начинает резко падать. Так, например, установленные на ГАЭС Gorona del Viento ковшовые турбины Пельтона имеют номинальную мощность 2830 кВт. При этом, согласно данным [20], нижний предел мощности, допускаемый в системе регулирования, составляет 10 % от номинала (280 кВт).

При номинальном режиме работы расход воды составляет 636 м³/МВт·ч. При работе же на

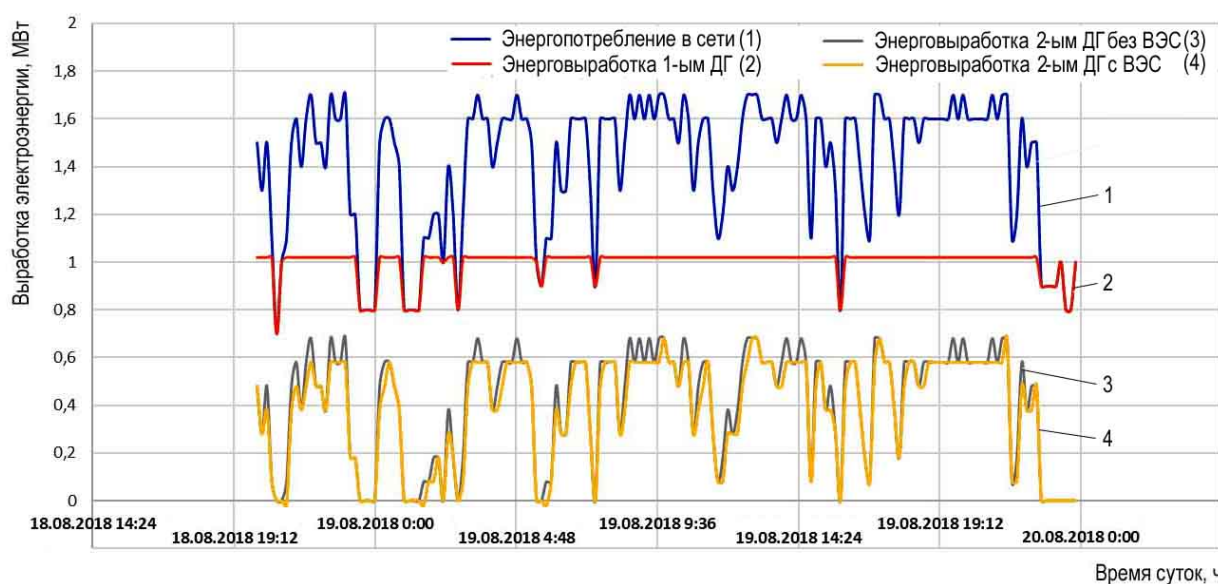


Рис. 8. График работы двух дизельгенераторов при использовании активных потребителей в режиме задержки повышения мощности

10%-ной нагрузке за счет снижения гидравлического сопротивления турбины расход воды возрастает до 890 м³/МВт·ч. Следовательно, 254 м³ воды будут при этом потеряны, а вместе с ними будет безвозвратно потеряно 400 кВт·ч электрической энергии. Если в этот момент времени принудительно включить активные потребители общей мощностью примерно 283 кВт, то с увеличением нагрузки на турбину этих потерь удастся избежать. Расход воды в этом случае останется практически неизменным, а выработка электроэнергии в течение одного часа увеличится с 283 до 500 кВт.

Аналогичным образом можно увеличить эффективность работы насосов ГАЭС. Дополнительная электрическая энергия будет использована для зарядки аккумуляторов холода в системе охлаждения дизельгенераторов и других активных потребителей.

Алгоритм управления VPP в этом случае следующий. При падении нагрузки гидравлической турбины или насосов система начинает подключать активные потребители и удерживать нагрузку на оптимальном уровне. Если же на следующем этапе нагрузка в сети продолжает падать, а потенциал активных потребителей полностью израсходован, система отключает гидравлическую турбину или насос. Дальнейшее снижение их мощности уже экономически нецелесообразно и приведет только к дополнительным потерям.

Таким образом, рассмотренная технология управляемого подключения и отключения активных потребителей в сети позволит оптимизировать совместную работу децентрализованных генераторов электроэнергии различного типа и потребителей. Такая виртуальная электростанция обеспечит возможность активного управления нагрузкой в сети гибридной электростанции для стабилизации ее работы и повышения эффективности локальной энергетической системы.

Выводы

1. Применение виртуальной электростанции в составе гибридной электростанции позволяет повысить эффективность локальной энергетической системы. Небольшие кратковременные колебания нагрузки в электрической сети до 200–300 кВт компенсируются виртуальной электростанцией со стабилизацией работы гидравлических турбин и насосов ГАЭС на оптимальном уровне мощности. При использовании в составе гибридной электростанции дизельгенераторов эта технология позволяет существенно сократить потери топлива.

2. Снижение потерь электрической энергии в системе гидроаккумулирования обеспечивается за счет накопления энергии в аккумуляторах холода, причем, без дополнительных затрат. В дальнейшем, накопленная энергия используется для снижения расхода топлива дизельгенераторов, что позволяет получить существенный экономический

эффект. Кроме этого, активные потребители частично используют для своей работы дополнительную электрическую энергию за счет снижения потерь, что в итоге приводит к повышению эффективности всего энергетического комплекса в целом.

3. В качестве активных потребителей следует использовать в первую очередь инверторные холодильные машины, позволяющие плавно регулировать холодопроизводительность и, соответственно, плавно изменять энергопотребление, что обеспечивает «мягкое» регулирование нагрузки в электрической сети.

4. На примере гибридной электростанции Gogona del Viento показана эффективность работы виртуальной электростанции с небольшой суммарной мощностью активных потребителей в пределах 100–200 кВт. При этом большинство этих активных потребителей являются элементами самой электростанции. По мере роста количества и мощности активных потребителей эффективность гибридной электростанции будет повышаться.

Литература

1. Мугуров, В.П. Экономическая оценка возобновляемой энергетики для автономного электропитания / В.П. Мугуров, С.Н. Мартыросов // *Возобновляемая энергия*. – 1997. – № 1. – С. 52–55.
2. Новых, А.В. Повышение эффективности гибридных электростанций с помощью аккумулирующих устройств / А.В. Новых, Х.А. Мендес Перез, Б. Гонзалес-Диас и др. // *Энергетические установки и технологии*. – 2018. – Т. 4, № 3. – С. 58–66.
3. Lau, K.Y. Performance Analysis of Hybrid Photovoltaic/Diesel Energy System under Malaysian Conditions / K.Y. Lau, M.F.M. Yousof, S.N.M. Arshad et al. // *Energy*. – 2010. – No. 35 (8). – P. 3245–3255. DOI: 10.1016/j.energy.2010.04.008
4. Лукутин, Б.В. Энергоэффективность автономных ветродизельных комплексов / Б.В. Лукутин, Н.М. Парников // *Электрика*. – 2007. – № 9. – С. 19–23.
5. Лукутин, Б.В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении / Б.В. Лукутин, О.А. Суржикова, Е.Б. Шандарова. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.
6. Виртуальная электростанция. Презентация проекта ВЭ РГК-1. – <http://www.rgk1.ru/Projects/100> (дата обращения: 08.01.2019).
7. Виртуальная электростанция Next Pool. – <http://renew.ru/virtual-power-plant-next-pool-4-gw-by-the-end-of-2017/> (дата обращения: 05.01.2019).
8. Electricity Network Plan to Launch London's First 'Virtual Power Station'. – <https://www.ukpowernetworks.co.uk/internet/en/news-and-press/first-virtual-power-station.html> (дата обращения: 27.02.2019).
9. Волкова, И.О. Активный потребитель в интеллектуальной энергетике / И.О. Волкова,

Альтернативные источники энергии

Д.Г. Шувалова, Е.А. Сальникова // Академия энергетики. – 2011. – № 2 (40). – С. 50–57.

10. Волкова, И.О. Активный потребитель: задача оптимизации потребления электроэнергии и собственной генерации / И.О. Волкова, Е.А. Сальникова, М.В. Губко // Проблемы управления. – 2013. – № 6. – С. 53–61.

11. Создание виртуальной электростанции. – http://www.rgk1.ru/Cms_Data/Contents/rgk-1/Folders/Files/~contents/EBP2N4WMV9B6K8K8/VS.pdf (дата обращения: 08.01.2019).

12. Overview of Current Development in Electrical Energy Storage Technologies and the Application Potential in Power System Operation / X. Luo, J. Wang, M. Dooner, J. Clarke // Applied Energy. – 2015. – Vol. 137. – P. 511–536. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.09.081

13. Virtual Power Stations. – <https://powerstar.com/virtual-power-stations/> (дата обращения: 15.02.2019).

14. Новых, А.В. Аккумуляция энергии / А.В. Новых, И.И. Свириденко // Безопасность, эффективность, ресурс: сб. тез. докл. 13-й Международ. науч.-практ. конф. по атомной энергетике. МНПК АЭ-2017. – Севастополь: СевГУ. – 2017. – С. 132–135.

15. Остров зеленой энергетики. – <https://tenergy.livejournal.com/58060.html> (дата обращения: 10.05.2016).

16. Demanda Canaria en Tiempo Real. – <https://www.ree.es/es/actividades/sistema-electrico-canario/demanda-de-energia-en-tiempo-real> (дата обращения: 23.08.2018).

17. El Hierro – Seguimiento de la Demanda de Energía Eléctrica. – https://demanda.ree.es/visiona/canarias/el_hierro/total/ (дата обращения: 23.08.2018).

18. Аккумулятор холода OSO MA 5000 – CU/PLUS. – <http://thermomir.ru/subitem/akkumulyator-holoda-oso-ma-5000-cu-plus> (дата обращения: 12.12.2018).

19. Mejorando la Eficiencia Energética de las Ciudades Inteligentes a Través del Amplio uso de Dispositivos de Almacenamiento de Energía / O. Novykh, J.A. Méndez Pérez, B. González-Díaz, I. Sviridenko // IV Congreso Ciudades Inteligentes. Libro de Comunicaciones y Proyectos, 2018. – P. 222–227. DOI: 10.4272/978-84-9745-476-6.ch1

20. Основы гидроэнергетики. Ковшовые турбины. – <http://blog.rushydro.ru/?p=4757> (дата обращения: 12.12.2018).

Новых Александр Владимирович, канд. техн. наук, докторант, кафедра «Системотехника, автоматическое управление, архитектура и компьютерные технологии», Университет Ла-Лагуна, г. Сан-Кристобаль-де-ла-Лагуна, о. Тенерифе, Испания; alexandr.novykh@gmail.com.

Свириденко Игорь Иванович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Энергоустановки морских судов и сооружений», Морской институт, Севастопольский государственный университет, г. Севастополь; i.sviridenko@mail.ru.

Гоголев Геннадий Вениаминович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Энергоустановки морских судов и сооружений», Морской институт, Севастопольский государственный университет, г. Севастополь; ggogolevsgu@mail.ru.

Поступила в редакцию 23 апреля 2019 г.

DOI: 10.14529/power190210

IMPROVING THE EFFICIENCY OF A HYBRID ELECTRIC POWER PLANT BY MEANS OF A VIRTUAL POWER PLANT

A.V. Novykh¹, alexandr.novykh@gmail.com,

I.I. Sviridenko², i.sviridenko@mail.ru,

G.V. Gogolev², ggogolevsgu@mail.ru

¹ University of La Laguna, San Cristobal de La Laguna, Spain,

² Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

The paper considers the functional specifics of a hybrid power plant for local or distributed grids. A hybrid power plant uses both conventional and renewable sources of energy. As such plants rely more and more on renewable sources with their unstable generation, regulating the loads affected by randomly connecting and

disconnecting consumers becomes challenging. To control the load in, and stabilize a local grid powered by a hybrid plant, the research team has analyzed the implementation of virtual power plants, a technology that provides control over such connections and disconnections. The technology helps optimize the interaction of consumers and decentralized generators of different types. The technology is proven feasible with evidence from the case of stabilizing the hydraulic turbines and pumps of the pumped storage station that cut the diesel fuel consumption at the Gorona del Viento hybrid power plant in El Hierro, the Canaries. The paper analyzes different VPP algorithms and proves feasible the efficient use of a virtual power plant to optimize the interaction of consumers and multiple decentralized generators for more efficient load management and better local grid performance.

Keywords: hybrid power plant, virtual power plant, network load control algorithm, active consumer, thermal energy storage.

References

1. Mugurov V.P., Martirosov S.N. *Ekonomicheskaya otsenka vozobnovlyаемой energetiki dlya avtonomnogo elektrosnabzheniya* [Economic Valuation of Renewable Energy for Autonomous Power Supply]. *Vozobnovlyаемая energiya* [Renewable Energy], 1997, no 1. pp. 52–55. (in Russ.)
2. Novykh A.V., Mendez Perez J.A., Gonzalez-Diaz B., Sviridenko I.I., Gogolev G.V., Timofeev V.A. [Increasing the Efficiency of Hybrid Power Plants Using Accumulating Devices]. *Energeticheskie ustanovki i tekhnologii* [Power Plants and Technologies], 2018, vol. 4, no. 3, pp. 58–66. (in Russ.)
3. Lau K.Y., Yousof M.F.M., Arshad S.N.M., Anwari M., Yatim A.H.M. Performance Analysis of Hybrid Photovoltaic/Diesel Energy System under Malaysian Conditions. *Energy*, 2010, no 35 (8), pp. 3245–3255. DOI: 10.1016/j.energy.2010.04.008
4. Lukutin B.V. Parnikov N.M. [Energy Efficiency of Autonomous Wind-Diesel Complex]. *Elektrika*, 2007, vol. 9, pp. 19–23. (in Russ.)
5. Lukutin B.V., Surzhikova O.A., Shandarova E.B. *Vozobnovlyаемая energetika v de-centralizovannom elektrosnabzhenii* [Renewable Energy in a Decentralized Power Supply]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2008, 231 p.
6. *Virtual'naya elektrostanciya. Prezentatsiya proekta VE RGK-1* [Virtual Power Plant. Presentation of the Project VE RGK-1]. Available at: <http://www.rgk1.ru/Projects/100> (accessed 08.01.2019).
7. *Virtual'naya elektrostanciya Next Pool* [Virtual Power Plant Next Pool]. Available at: <http://renew.ru/virtual-power-plant-next-pool-4-gw-by-the-end-of-2017/> (accessed 05.01.2019).
8. Electricity Network Plan to Launch London's First 'Virtual Power Station'. Available at: <https://www.ukpowernetworks.co.uk/internet/en/news-and-press/first-virtual-power-station.html> (accessed 27.02.2019).
9. Volkova I.O. [Active Consumer in Intellectual Power Engineering]. *Akademiya energetiki* [Academy of Energy], 2011, vol. 2, no. 40, pp. 50–57. (in Russ.)
10. Volkova I.O., Sal'nikova E.A., Gubko M.V. [Active Consumer: the Task of Optimizing Electricity Consumption and Own Generation] *Problemy upravleniya* [Management Problems], 2013, no 6, pp. 53–61. (in Russ.)
11. *Sozdanie virtual'noy elektrostantsii* [Creating a Virtual Power Plant]. Available at: http://www.rgk1.ru/Cms_Data/Contents/rgk-1/Folders/Files/~contents/EBP2N4WMV9B6K8K8/VS.pdf (accessed 08.01.2019).
12. Xing L. Wang J., Dooner M., Clarke J. Overview of Current Development in Electrical Energy Storage Technologies and the Application Potential in Power System Operation. *Applied Energy*, 2015, vol. 137, pp. 511–536. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.09.081
13. Virtual Power Stations. Available at: <https://powerstar.com/virtual-power-stations/> (accessed 15.02.2019).
14. Novykh A.V., Sviridenko I.I. [Energy Storage]. *Bezopasnost', effektivnost', resurs: sb. tez. dokl. 13-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. po atomnoy energetike. MNPk AE-2017* [Col. of Abs. of the 13th Int. Scientific-Practical Conf. on Nuclear Power Energy. ICNPE-2017], 2017, pp. 132–135. (in Russ.)
15. *Ostrov zelenoy energetiki* [Island of Green Energy]. Available at: <https://tnenergy.livejournal.com/58060.html> (accessed 10.05.2016).
16. Demanda Canaria en Tiempo Real. Available at: <https://www.ree.es/es/actividades/sistema-electrico-canario/demanda-de-energia-en-tiempo-real> (accessed 23.08.2018).
17. El Hierro – Seguimiento de la Demanda de Energía Eléctrica. Available at: https://demanda.ree.es/visiona-canarias/el_hierro/total/ (accessed 23.08.2018).
18. *Akkumulyator holoda OSO MA 5000 – CU/PLUS* [Cold Accumulator OSO MA 5000 – CU/PLUS]. Available at: <http://thermomir.ru/subitem/akkumulyator-holoda-oso-ma-5000-cu-plus> (accessed 12.12.2018).

Альтернативные источники энергии

19. Novykh O., Mendez Perez J.A., Gonzalez-Diaz B., Sviridenko I. Mejorando la Eficiencia Energética de las Ciudades Inteligentes a Través del Amplio uso de Dispositivos de Almacenamiento de Energía. *IV Congreso Ciudades Inteligentes. Libro de Comunicaciones y Proyectos*, 2018, pp. 222–227. (in Span.) DOI: 10.4272/978-84-9745-476-6.ch1

20. *Osnovy gidroenergetiki. Kovshovye turbiny* [Basics of Hydropower. Bucket Turbines]. Available at: <http://blog.rushydro.ru/?p=4757> (accessed 12.12.2018).

Received 23 April 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Новых, А.В. Повышение эффективности гибридной электростанции с помощью виртуальной электростанции / А.В. Новых, И.И. Свириденко, Г.В. Гоголев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 87–96. DOI: 10.14529/power190210

FOR CITATION

Novykh A.V., Sviridenko I.I., Gogolev G.V. Improving the Efficiency of a Hybrid Electric Power Plant by Means of a Virtual Power Plant. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 87–96. (in Russ.) DOI: 10.14529/power190210