

УДК 620.9

DOI: 10.22213/2413-1172-2019-4-116-123

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

В. В. Гурьев, аспирант, Севастопольский государственный университет; АО «СО ЕЭС «Черноморское РДУ», Севастополь, Россия

В. В. Кувшинов, кандидат технических наук, Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

Б. А. Якимович, доктор технических наук, профессор, Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

Крымский полуостров сегодня – флагман развития возобновляемой энергетики, поскольку является не только активно развивающимся регионом, но и курортным центром. Энергетический комплекс Крымского полуострова за последние годы увеличился благодаря строительству новых электрических станций (Балаклавской ТЭС и Таврической ТЭС) суммарной мощностью 940 МВт, а также строительству новых ЛЭП 220 и 330 кВ, что обеспечило покрытие дефицита энергоснабжения полуострова. Произведен обзор регионально-го развития и использования возобновляемых источников энергии. На основании полученных данных проведен анализ проблем и перспектив развития возобновляемой энергетики в регионе.

Развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для Крымского полуострова играет важную роль в целях достижения экологической безопасности и развития экономического потенциала региона. Обосновано приоритетное использование ВИЭ в регионе, а также решение возникающих проблем при увеличении доли ВИЭ в составе суммарной генерации. Появление избытка электроэнергии в энергосистеме и наличие возможности балансирования вырабатываемой мощности ВИЭ и тепловых электростанций ведет к снижению стоимости электроэнергии. Инвестиционная привлекательность и активный рост населения в регионе обуславливает увеличение генерирующей мощности и увеличение маневренности энергосистемы при существенном влиянии возобновляемых источников энергии. Эффективность работы ВИЭ в энергосистеме, мировой опыт управления генерацией ВИЭ, фактическое влияние ВИЭ на энергосистему в условиях дефицита электроэнергии, прогнозные графики работы солнечных электростанций (СЭС) ВЭС, предоставляемые субъектами электроэнергетики в установленном порядке, учитываются при формировании диспетчерского графика.

Существующий опыт действующих СЭС в энергосистеме Республики Крым и г. Севастополя требует дополнительных исследований, в том числе путем проведения натурных испытаний генерирующего оборудования. Дальнейшие натурные испытания должны проводиться в условиях реального электроэнергетического режима работы энергосистемы, для чего требуется внедрение современных информационных технологий, обеспечивающих обмен технологической информацией и реализацию соответствующих управляющих воздействий. Ведется работа по созданию нормативной базы регулирования работы ВИЭ.

Ключевые слова: баланс мощности, экология, возобновляемая энергетика, энергия солнца и ветра, натурные испытания.

Введение

В современном мире с ограниченными энергоресурсами и возрастающим потреблением технологии добычи энергии из альтернативных возобновляемых источников набирают все большую популярность. К таким источникам относятся, в первую очередь, солнечная и ветровая энергия. Во многих развитых странах, уделяющих большое внимание развитию возобновляемой энергетики, приняты программы развития и увеличения объема использования данного вида энергии и специальные нормативно-правовые акты, устанавливающие юридические требования и правила в данной

области. Так, Европейский Союз принял решение увеличить долю нетрадиционных возобновляемых источников энергии в энергобалансе до 20 % к 2021 г., а Швеция за это же время намерена достичь полной независимости от ископаемого топлива. В странах, где доля возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергобалансе наиболее высока, например, в Финляндии (30 %) и Дании (25 %), разработаны государственные программы поддержки возобновляемой энергетики. В Российской Федерации, в свою очередь, действует утвержденная «Энергетическая стратегия России» на период до 2030 г., которая предусматривает внедрение альтерна-

тивной энергетики во все сферы государственной деятельности и условно выделяет три блока политико-экономических задач, среди которых на первом месте стоит увеличение относительного объема производства и потребления электрической энергии с использованием ВИЭ примерно с 0,5 до 4,5 % [1].

Не стоит забывать, что Россия располагает самым большим в мире потенциалом энергии, вырабатываемой альтернативными источниками. Так, объем технически доступных ресурсов возобновляемых источников энергии в Российской Федерации составляет не менее 24 млрд тонн условного топлива.

Что касается зарубежного опыта, то в данном случае хотелось бы отметить Германию как передовое государство в освоении ВИЭ. В Германии продолжает расти доля электроэнергии ветра и солнца, зависимой от погодных условий. Это оказывает давление на сектор электроэнергетики: он должен быть более гибким в управлении спросом и предложением энергии. Всё острее ощущается необходимость точных прогнозов того, сколько энергии будет подано в сеть в любой момент. Точные прогнозы погоды являются основой, поэтому сетевые операторы – поставщики электроэнергии – и операторы электростанций полагаются на новую промышленность, специализирующуюся на прогнозах для данного сектора.

Даже до распространения возобновляемых источников энергии сетевые операторы использовали прогнозы погоды, чтобы убедиться в том, что оборудование готово для экстремальных условий, и закончить обслуживающие работы до начала грозы. Распространение возобновляемых источников энергии означает, что погода также имеет значение для стабильности сети.

Сетевые операторы отвечают за баланс спроса и предложения в немецкой энергосистеме. При производстве энергии из ископаемого топлива поддержание стабильности было игрой с несколькими переменными, большинство из которых можно было контролировать. С постоянно увеличивающимся количеством источников питания, поступающих из непостоянных источников, поддержание баланса является трудоемким и дорогостоящим предприятием, которое требует компетентности и информирования.

Внезапные падения или скачки в подаче электроэнергии являются большой проблемой для сохранения стабильности сети. До и после частичного солнечного затмения 20 марта 2015 г. немецким операторам энергосетей пришлось сбалансировать падение на 2674 МВт и скачок

солнечной энергии в 4111 МВт в течение 15 мин, когда мощность электричества менялась в четыре раза быстрее, чем обычно. С ростом доли возобновляемых источников энергии, отличающейся непостоянностью, такие скачки происходят чаще [2].

Стоит отметить, что главным преимуществом альтернативных источников энергии является неисчерпаемость и экологическая безопасность при эксплуатации данных установок на их основе, в связи с чем можно сделать вывод, что данное направление имеет большую перспективу развития.

Цель настоящего исследования – обзор развития и использования ВИЭ при различных региональных аспектах. В рамках данной работы рассмотрен потенциал развития возобновляемой энергетики Крымского полуострова.

Потенциал и перспективы развития возобновляемых источников энергии на территории Крымского полуострова

Энергетический комплекс Крымского полуострова за последние годы увеличился благодаря строительству новых электрических станций (Балаклавской ТЭС и Таврической ТЭС) суммарной мощностью 940 МВт, а также строительству новых ЛЭП мощностью 220 и 330 кВ, что обеспечило покрытие дефицита энергообеспечения полуострова, повысило его энергетическую безопасность. Достичь данных результатов удалось благодаря федеральной целевой программе [3].

С учетом развития мировых тенденций не стоит забывать об имеющемся потенциале Крымского полуострова в части возобновляемой энергетики, где доля от суммарной генерирующей мощности составляет порядка 30 %.

Стоит отметить, что при параллельной работе ВИЭ и тепловых электростанций осуществляется выдача мощности (порядка 80 МВт) по энергопотребителю в кубанскую энергосистему. Данный факт говорит о наличии избытка электроэнергии в энергосистеме и наличии возможности балансирования вырабатываемой мощности ВИЭ и тепловых электростанций, при этом снижается стоимость электроэнергии. Достичь подобного результата стало возможно благодаря более точному прогнозированию выработки электроэнергии ВИЭ при краткосрочном и оперативном планировании энергетического режима работы энергосистемы.

Анализ потенциала ВИЭ Крымского полуострова свидетельствует о возможностях и целесообразности более широкого их использования на местах с целью экономии тепла и топли-

ва на существующих традиционных источниках тепла [4].

Реализация федеральной целевой программы, а также значительной инвестиционной активности в энергетическом комплексе в отношении ВИЭ наталкивают на решение более глобальных проблем при эксплуатации ВИЭ в регионе. В дальнейшем доля ВИЭ в энергосистеме будет увеличиваться, а значит, будет увеличиваться влияние переменчивых ВИЭ на режим работы энергосистемы, что потребует разработки более серьезных и точных методов управления генерацией ВИЭ.

Экономически целесообразный достижимый потенциал развития ВИЭ в Крыму оценивается на уровне 620 тыс. МВт · ч/год.

Эффективность работы ВИЭ в энергосистеме Республики Крым и г. Севастополя

Показателями эффективности работы ВИЭ традиционно являются коэффициенты полезного действия и использования установленной мощности (КИУМ) электростанций. Коэффициент полезного действия ВИЭ (СЭС и ВЭС), как правило, не превышает 30 % и в значительной степени зависит от климатических условий, технического состояния и технологического совершенства оборудования. КИУМ характеризует эффективность работы генерирующего оборудования и равен отношению среднеарифметической мощности к установленной мощности электроустановки за определенный интервал времени [5].

За последние три года КИУМ ВИЭ крымской энергосистемы не превышает 15 %. Для сравнения: показатели работы ВИЭ в Китае, являющемся авангардом в области развития технологий ВИЭ в мире, КИУМ ВЭС составляет 17,2 %, КИУМ СЭС – 15 %. В странах Евросоюза средний показатель КИУМ ВЭС несколько выше и составляет 20,9 %, КИУМ СЭС – 11,5 %.

Стоит отметить, что согласно исследованиям Международного энергетического агентства (МЭА) выделяется четыре стадии внедрения ВИЭ-генерации в традиционные энергосистемы [6].

На первом этапе, когда доля ВИЭ в годовой выработке не превышает 3 %, специальных мер для ее интеграции обычно не требуется, если только ВИЭ не являются сильно локализованными в энергосистеме.

На втором этапе, когда доля ВИЭ составляет 3...15 %, необходима адаптация имеющихся ресурсов регулирования, технологий и способов управления энергосистемой.

На третьем этапе, когда доля ВИЭ превышает 15 % от годовой выработки, а также на дальнейших стадиях требуется глубокая перестройка работы энергосистемы и внедрение новых средств и инструментов поддержания работы энергосистемы.

На четвертой стадии – более 50 % годовой выработки ВИЭ-генерации – требуется еще большая гибкость системы, ее способность к самовосстановлению после резких и объемных колебаний выработки.

Согласно исследованиям средний КИУМ ВИЭ, работающих в энергосистеме Республики Крым и г. Севастополя, за последние три года составил 15 %.

Таким образом, генерацию ВИЭ можно отнести ко второму этапу внедрения в традиционные энергосистемы, когда доля ВИЭ составляет 3...15 %, однако необходима адаптация имеющихся ресурсов регулирования, технологий и способов управления энергосистемой [7].

Влияние ВИЭ на оперативно-диспетчерское управление энергосистемой Республики Крым и г. Севастополя

С точки зрения оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике особый интерес представляет оценка эффективности участия СЭС и ВЭС в покрытии потребления в энергосистеме. Несмотря на вероятностный характер и негарантированность выработки электрической мощности такими электростанциями, в дефицитных энергосистемах работа ВИЭ может носить системный эффект. Ярким примером является работа СЭС и ВЭС в крымской энергосистеме в период блэкаута с наличием острого дефицита активной мощности изолированной энергосистемы. Так, при прохождении осенне-зимнего периода 2016/17 гг. максимум нагрузки зафиксирован в дневные часы и обеспечен, в том числе, работой ВИЭ. В вечерние часы, в условиях снижения генерации ВИЭ и исчерпания располагаемой мощности генерирующих источников, часть потребителей переводилась на электроснабжение от децентрализованных источников, вводились графики ограничений режима потребления [8].

В условиях работы энергосистемы при наличии резервов активной мощности генерирующих источников работа ВИЭ также является в ряде случаев востребованной. Например, при прохождении ПЭВТ 2018 г. в крымской энергосистеме максимум нагрузки также зафиксирован в дневные часы. При этом работа ВИЭ позволила разгрузить сечение ОЭС юга Крыма ниже уровня допустимого перетока (работа

энергомоста в вынужденном режиме), а также на время солнечной активности отключить в резерв часть дорогостоящих мобильных ГТЭС. Таким образом, проходила оптимизация режима работы всей энергосистемы в ручном режиме.

Следует отметить, что прогнозные графики работы СЭС и ВЭС, предоставляемые субъектами электроэнергетики в установленном порядке, учитываются при формировании диспетчерского графика и принимаются по заявкам

субъекта. В этом смысле важным представляется качество прогнозирования, осуществляемого на электростанциях [9].

Важным фактором, оказывающим влияние на энергосистему, является негарантированность выработки электрической мощности такими электростанциями. На рисунке представлен пример отклонения прогнозного значения от фактического. Данное отклонение режима работы ВИЭ в крымской энергосистеме зафиксировано 23.01.2019 г.



Отклонение фактической выработки ВИЭ от прогнозного значения

Deviation of the actual renewable energy sources generation from the forecast value

Если учесть, что промежуток времени между принятием решения о включении генератора в сеть и самим включением определяется длительностью пусковых операций и для объектов тепловых электростанций измеряется часами, то необходимо заранее определить, какие генерирующие объекты и в какой очередности должны быть включены в работу для прохождения максимумов нагрузки; для прохождения периодов минимальной нагрузки также требуется определить, какие объекты могут быть отключены от сети и переведены в холодный резерв [10]. Отсутствие на рынке возобновляемой энергетики универсальных технических устройств и средств управления, обеспечивающих возможность объединения в рамках единой энергетической системы разнотипных энергетических установок с возможностью эффективного управления режимами их работы, является негативным фактором развития возобновляемой энергетики не только Крымской энергосистемы, но и ЕЭС России в целом.

При более точном определении вырабатываемой мощности ВИЭ фактически определяет-

ся оптимальная загрузка электростанций, работающих на традиционном виде топлива, что, в свою очередь, позволяет более эффективно использовать мощность тепловых электростанций и экономить топливо в комплексе работающих в энергосистеме с ВИЭ.

Опыт управления ВИЭ в энергосистемах

Существующий опыт действующих СЭС в энергосистеме Республики Крым и г. Севастополя требует дополнительных исследований, в том числе путем проведения натурных испытаний генерирующего оборудования.

Определенный интерес представляют испытания дистанционного управления режима работы Бурибаевской СЭС из диспетчерского центра. Проведенные филиалами АО «Системный оператор единой энергетической системы «Объединенное диспетчерское управление» (АО «СО ЕЭС «ОДУ») Урала и Башкирское РДУ совместно с группой компаний «Хевел», а также натурные испытания функции ограничения активной мощности Соль-Илецкой СЭС с целью определения возможности фактического участия СЭС в ОПРЧ,

проводимые в операционной зоне филиала АО «СО ЕЭС» Оренбургского РДУ [11].

Проведение подобных экспериментов связано с настройкой инверторов СЭС, посредством которого вырабатываемая группой фотоэлектрических модулей (солнечных панелей) мощность выдается в электрическую сеть. При этом величина ограничения активной мощности при повышении частоты соответствует заданным настройкам инвертора по статизму и «мертвой полосе» первичного регулирования [12]. Данные испытания являются имитационными и реализуются с помощью имеющихся программно-аппаратных комплексов.

Таким образом, дальнейшие натурные испытания должны проводиться в условиях реального электроэнергетического режима работы энергосистемы, для чего требуется внедрение современных информационных технологий, обеспечивающих обмен технологической информацией и реализацию соответствующих управляющих воздействий.

Построение оптимальной модели управления ВИЭ в энергосистеме Крымского полуострова

С целью снижения затрат на производство и передачу электроэнергии с учетом повышения надежности энергосистемы в условия воздействия ВИЭ построена математическая модель оптимизации. В результате чего участники энергосистемы были распределены на следующие группы:

- ТЭЦ – тепловые электростанции;
- МГТЭС – мобильные газотурбинные электрические станции;
- ВИЭ – возобновляемые источники электроэнергии;
- РИСЭ – резервные источники электропитания;
- энергомост (кабельно-воздушные линии (далее – КВЛ) электропередач и подстанции, построенные для подключения энергосистемы Крыма к ЕЭС России (ОЭС Юга)).

Расчет различных сценариев энергообеспечения Крымского полуострова

Calculation of various scenarios of energy supply of the Crimean peninsula

Номер сценария	Нагрузка потребления, МВт	Максимальная мощность источников, МВт	Фактическая располагаемая мощность генерации, МВт	Дефицит мощности энергосистемы, МВт
1	1591	ТЭЦ – 1254 МГТЭС – 396,1 ВИЭ – 20 энергомост – 720	ТЭЦ – 800 МГТЭС – 0 ВИЭ – 20 энергомост – 690	–81
2	1430	ТЭЦ – 1254 МГТЭС – 396,1 ВИЭ – 230 энергомост – 720	ТЭЦ – 800 МГТЭС – 0 ВИЭ – 230 энергомост – 650	250
3	1630	ТЭЦ – 1254 МГТЭС – 396,1 ВИЭ – 20 энергомост – 720	ТЭЦ – 800 МГТЭС – 0 ВИЭ – 20 энергомост – 720	–90
4	1350	ТЭЦ – 1254 МГТЭС – 396,1 ВИЭ – 230 энергомост – 720	ТЭЦ – 800 МГТЭС – 0 ВИЭ – 230 энергомост – 350	130
5	1200	ТЭЦ – 1254 МГТЭС – 396,1 ВИЭ – 230 энергомост – 720	ТЭЦ – 850 МГТЭС – 0 ВИЭ – 230 энергомост – 0	120

Первый сценарий показал зависимость энергосистемы и потребителей от ВИЭ. Произошло отключение нагрузки потребителей порядка 81 МВт. Причиной данной ситуации послужила нехватка генерирующих мощностей, ограничения по перетоку с энергомостом, неблагоприятные метеофакторы.

Второй сценарий показал, что при благоприятных метеоусловиях в солнечный день и, соот-

ветственно, при наличии дополнительной генерации ВИЭ при оперативном планировании и ведении режима энергосистемы отключения нагрузки потребителей не произошло. При этом появляется резерв мощности 250 МВт на МГТЭС.

Третий сценарий показал зависимость энергосистемы и потребителей от ВИЭ. Произошло отключение нагрузки потребителей порядка

90 МВт. Причиной данной ситуации послужила нехватка генерирующих мощностей, ограничения по перетоку с энергоостом, неблагоприятные метеофакторы.

Четвертый сценарий при благоприятных метеоусловиях в солнечный день и ремонте на энергоостом показал, что можно отказаться от дорогостоящих МГТЭС даже при пиковых потреблении электроэнергии.

Пятый сценарий при благоприятных метеоусловиях в солнечный день показал, что можно отказаться от дорогостоящих МГТЭС. При этом возможна подача электроэнергии на материк по энергоосту порядка 120 МВт [13].

Необходимо заметить, что в летний период вырабатываемая мощность ВИЭ при неблагоприятных природных условиях может снижается почти на 90 %, в то время как существенная часть генерирующих мощностей тепловых электростанций находится в плановых ремонтах.

Выводы

По состоянию на сегодняшний день для оптимального управления ВИЭ в энергосистеме Республики Крым и г. Севастополя необходимо усовершенствование методов прогнозирования при краткосрочном и оперативном прогнозировании.

Для дальнейшего развития ВИЭ на территории Крымского полуострова необходима адаптация имеющихся ресурсов регулирования, технологий и способов управления энергосистемой.

Стоит отметить, что ведется работа по созданию нормативной базы регулирования работы ВИЭ. Так, Постановлением Правительства Российской Федерации от 13.08.2018 № 937 утверждены Правила технологического функционирования электроэнергетических систем, определившие впервые на таком уровне требования к ВИЭ-генерации. Вместе с тем остается большое количество вопросов стандартизации технических требований к вводимому оборудованию ВИЭ. Кроме вопроса стандартизации технических требований к оборудованию ВИЭ для надежной работы энергосистем со значительным объемом ВИЭ необходимо развивать системы прогнозирования выработки ВИЭ [14].

Однако не стоит забывать о следующих важных факторах, которые вселяют оптимизм при рассмотрении возобновляемой энергетики:

1. Стоимость ископаемого топлива неуклонно растет по мере уменьшения его запасов.

2. Разумная государственная политика делает использование ВИЭ выгоднее.

3. С учетом прогресса КПД ВИЭ повышается, разрабатываются новые технологии в генерации и аккумулировании электроэнергии.

Библиографические ссылки

1. Белокрылова Е. А., Кологерманская Е. М. Современные политико-правовые аспекты развития возобновляемых источников энергии в Российской Федерации // Вестник Удмуртского университета. 2017. Т. 27, № 2. С. 85–93.

2. Variable but predictable: Forecasting renewable power generation. *Clean energy Wire*, 2016, pp. 1-7.

3. Кривцов В. С., Олейников А. М., Яковлев А. И. Неисчерпаемая энергия. Кн. 3. Альтернативная энергетика. Харьков : ХАИ, 2007. 660 с.

4. Широков А. В., Шимон Н. С. Проблемы энергоснабжения в Республике Крым // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2017. Т. 1 (8). С. 47–49.

5. Усачёв А. М. Анализ динамики мировой индустрии солнечной энергетики // Наукоедение. 2015. Т. 7, № 4. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/10EVN415.pdf>

6. Оптимальное управление структурой и эксплуатационными режимами интегрированных энергетических систем / В. П. Жуков, Д. А. Осипов, Д. А. Уланов, Г. В. Ледуховский, Е. В. Барочкин // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2016. № 2. С. 33–37.

7. Перминов Э. М. Энергетика Республики Крым: состояние и проблемы развития. Новая возобновляемая энергетика – выбор Крыма // Энергетик. 2014. № 5. С. 7–10.

8. Жилина Н. А. Расчет нагрузочных мощностей электрической энергии вероятностно-статистическим методом // Научный Вестник Новосибирского государственного технического университета. 2014. № 2 (55). С. 176–182.

9. Гурьев В. В., Кувшинов В. В. Оптимизация методов прогнозирования вырабатываемой мощности солнечных электростанций в энергосистеме Республики Крым и города Севастополя // Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018» (Севастополь, 24–27 сентября 2018 г.) / под ред. Л. И. Лукиной, Н. А. Бержина, Н. В. Ляминой. Севастополь, 2018. С. 325–327.

10. Джумаев А. Я. Анализ влияния температуры на рабочий режим фотоэлектрической солнечной станции // Технические науки – от теории к практике : сб. ст. по материалам XLVI Междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 27 мая 2015 г.). Новосибирск : 2015. № 5 (42). С. 33–40.

11. Рыбкина Я. А. Правовая природа отбора проектов ВИЭ и применение норм антимонопольного законодательства к процедуре отбора проектов ВИЭ // Правовой энергетический форум. 2018. № 4. С. 38–45.

12. Чивенков А. И., Крахмалин И. Г. Универсальный преобразователь как основа для согласова-

ния параметров источников распределенной сети с ВИЭ // Интеллектуальная электротехника. 2018. № 1. С. 112–125.

13. Математическая модель оптимизации режима работы энергосистемы Республики Крым и г. Севастополя / С. В. Вологдин, В. В. Гурьев, Б. А. Якимович, В. В. Кувшинов // Энергетические установки и технологии. 2018. Т. 4, № 4. С. 50–54.

14. Орлов А. Окупаемость проектов ВИЭ: не так сложно, как кажется // Энергия: экономика, техника, экология. 2018. № 11. С. 70–72.

References

1. Belokrylova E.A., Kologermanskaya E.M. [Modern political and legal aspects of the development of renewable energy sources in the Russian Federation]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta*, 2017, vol. 27, no. 2, pp. 85-93 (in Russ.).

2. Variable but predictable: Forecasting renewable power generation. *Clean energy Wire*, 2016, pp. 1-7.

3. Krivtsov V.S., Oleinikov A.M., Yakovlev A.I. *Al'ternativnaya energetika* [Alternative energy]. Khar'kov, KhAI Publ., 2007, 660 p. (in Russ.).

4. Shirokov A.V., Shimon N.S. [Problems of energy supply in the Republic of Crimea]. *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy*, 2017, vol. 1, pp. 47-49 (in Russ.).

5. Usachev A.M. [Analysis of the dynamics of the global industry of solar energy]. *Naukovedenie*, 2015, vol. 7, no. 4 (in Russ.). Available at <http://naukovedenie.ru/PDF/10EVN415.pdf>

6. Zhukov V.P., Osipov D.A., Ulanov D.A., Ledukhovskii G.V., Barochkin E.V. [Optimal control of the structure and operational modes of integrated energy systems]. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*, 2016, vol. 2, pp. 33-37 (in Russ.).

7. Perminov E.M. [Energy of the Republic of Crimea - state and problems of development]. *Energetik*, 2014, no. 5, pp. 7-10 (in Russ.).

8. Zhilina N.A. [Calculation of load capacities of electric energy by the probabilistic-statistical method]. *Nauchnyi Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo*

tekhnicheskogo universiteta, 2014, no. 2, pp. 176-182 (in Russ.).

9. Guryev V.V., Kuvshinov V.V. *Optimizatsiya metodov prognozirovaniya vyrabatyvaemoi moshchnosti solnechnykh elektrostantsii v energosisteme Respubliki Krym i goroda Sevastopolya* [Optimization of methods for predicting the generated capacity of solar power plants in the power system of the Republic of Crimea and the city of Sevastopol]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost' - 2018" (Sevastopol', 24-27 sentyabrya 2018 g.)* [Proc. international scientific-practical conference "Environmental, Industrial and Energy Security - 2018" (Sevastopol, September 24-27, 2018)]. Sevastopol, 2018, pp. 325-327 (in Russ.).

10. Dzhumayev A.Ya. *Analiz vliyaniya temperatury na rabochii rezhim fotoelektricheskoi solnechnoi stantsii* [Analysis of the effect of temperature on the operating mode of a photovoltaic solar station]. *Materialy XLVI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Tekhnicheskie nauki - ot teorii k praktike" (Novosibirsk, 27 maya 2015 g.)* [Proc. XLVI International scientific-practical conf "Engineering - from theory to practice" (Novosibirsk, May 27, 2015)]. Novosibirsk, 2015, no. 5, pp. 33-40 (in Russ.).

11. Rybkina Ya.A. [The legal nature of the selection of renewable energy projects and the application of anti-trust laws to the procedure for selecting renewable energy projects]. *Pravovoi energeticheskii forum*, 2018, no. 4, pp. 38-45 (in Russ.).

12. Chivenkov A.I., Krakhmalin I.G. [Universal converter as a basis for coordinating the parameters of distributed network sources with renewable energy sources]. *Intellektual'naya elektrotehnika*, 2018, no. 1, pp. 112-125 (in Russ.).

13. Vologdin S.V., Guryev V.V., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. [A mathematical model for optimizing the operation of the power system of the Republic of Crimea and the city of Sevastopol]. *Energeticheskie ustanovki i tekhnologii*, 2018, vol. 4, no. 4, pp. 50-54 (in Russ.).

14. Orlov A. [Payback of renewable energy projects: not as difficult as it seems]. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*, 2018, no. 11, pp. 70-72 (in Russ.).

Prospects for the Development of Renewable Energy in the Crimean Peninsula

V.V. Guryev, Post-graduate, Institute of Nuclear Energy and Industry of Sevastopol State University;
"SO UES "Chernomorkoye RCD" JSC, Sevastopol, Russia

V.V. Kuvshinov, PhD in Engineering, Institute of Nuclear Energy and Industry of Sevastopol State University,
Sevastopol, Russia

B.A. Yakimovich, DSc in Engineering, Professor, Institute of Nuclear Energy and Industry of Sevastopol State
University, Sevastopol, Russia

The Crimean peninsula is the flagship of the development of renewable energy, as it is not only an actively developing region, but also a resort center. The energy complex of the Crimean peninsula in recent years has increased due to the construction of new power plants (Balaklava TPP and Tavricheskaya TPP) with a total capacity of 940 MW, as well as the construction of new 220 and 330 kV transmission lines, which ensured that the peninsula's power supply deficit was covered. A review of the regional development and use of renewable energy sources is carried out. Based on the data obtained, an analysis is made of the problems and prospects for the development of renewable energy in the region.

The development of renewable energy for the Crimean peninsula plays an important role in order to achieve environmental safety and develop the economic potential of the region. The paper substantiates the priority use of renewable energy in the region, as well as the solution of emerging problems with an increase in the share of renewable energy in the total generation. The appearance of excess electricity in the power system and the possibility of balancing the generated power of renewable energy and thermal power plants, while reducing the cost of electricity. Investment attractiveness and active population growth in the region leads to an increase in generating capacity and an increase in the maneuverability of the energy system with a significant impact of RES. The efficiency of renewable energy in the energy system, the world experience in managing renewable energy generation, the actual impact of renewable energy on the energy system in conditions of electricity shortage, and forecast work schedules of the SES wind farm provided by the electric power industry entities in the assigned way are taken into account when forming the dispatch schedule and are accepted at the request of the subject.

The available experience of existing SES in the power system of the Republic of Crimea and the city of Sevastopol requires additional research, including through field testing of generating equipment. Further full-scale tests should be carried out under the conditions of a real electric power mode of the power system, which requires the introduction of modern information technologies that ensure the exchange of technological information and the implementation of appropriate control actions. The work is underway to create a regulatory framework for the control of renewable energy source operation.

Keywords: power balance, ecology, renewable energy, solar and wind energy, field tests.

Получено 11.11.2019

Образец цитирования

Гурьев В. В., Кувшинов В. В., Якимович Б. А. Перспективы развития возобновляемых источников энергии на территории Крымского полуострова // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2019. Т. 22, № 4. С. 116–123. DOI: 10.22213/2413-1172-2019-4-116-123.

For Citation

Guryev V.V., Kuvshinov V.V., Yakimovich B.A. [Prospects for the Development of Renewable Energy in the Crimean Peninsula]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2019, vol. 22, no. 4, pp. 116-123 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2019-4-116-123.