

УДК 330.15
DOI

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНФИГУРАЦИИ СИСТЕМЫ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В КРЫМУ

ECONOMIC EFFICIENCY OF CONFIGURATION OF ALTERNATIVE ENERGY SYSTEM IN CRIMEA

Ванюшкин А.С.¹, Дадашев Б.А.²
Vanushkin A.S.¹, Dadashev B.A.²

¹) Крымский Федеральный Университет имени В.И. Вернадского, Россия, 295007, г. Симферополь,
пр-т Академика Вернадского, 4

²) Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Севастополе, Россия, 299001, г. Севастополь,
ул. Героев Сталинграда, 7

¹) V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 4 Vernadskogo Ave, Simferopol, 295007, Russia

²) Branch of Moscow State University named after M.V. Lomonosov in Sevastopol,
7 Heroes of Stalingrad St, Sevastopol, 299001, Russia

E-mail: dadasheva.z@mail.ru

Аннотация

Целью исследования является выявление экономически эффективной конфигурации системы альтернативной энергетики в Крыму. Для достижения поставленной цели были рассмотрены особенности, преимущества и недостатки основных видов возобновляемых источников энергии: солнечной, ветровой, биогазовой энергетики, определены основные элементы и условия экономической эффективности системы альтернативной энергетики в Крыму. На основе анализа особенностей, преимуществ и недостатков солнечных, ветровых и биогазовых электростанций и особенностей климата Крымского полуострова в статье разработана концептуальная конфигурация возобновляемых источников энергии (далее ВИЭ) энергосистемы региона, обеспечивающая ее экономическую эффективность; на основе выявленных типовых возможных ситуаций в ВИЭ энергосистеме региона в статье разработан алгоритм ее работы.

Abstract

This article is devoted to the problem of "green energy" in the Crimean Peninsula. The authors studied the main alternative energy sources currently available to the Crimean Peninsula. The aim of the study is to identify a cost-effective configuration of an alternative energy system in Crimea. To achieve this goal, we examined the features, advantages and disadvantages of the main types of renewable energy sources: solar, wind, biogas energy, identified the main elements and conditions of economic efficiency of the alternative energy system in Crimea. Based on the analysis of the features, advantages and disadvantages of solar, wind and biogas power plants and the climate features of the Crimean Peninsula, the article developed a conceptual configuration of renewable energy sources (hereinafter RES) of the region's energy system, which provides its economic efficiency; the algorithm of its operation is developed in the article based on the identified typical possible situations in the renewable energy system of the region.

Ключевые слова: альтернативная энергосистема, солнечные, ветровые, биогазовые электростанции, конфигурация, алгоритм, типовые возможные ситуации.

Keywords: alternative energy system, solar, wind, biogas power plants, configuration, algorithm, typical possible situations.

Введение

В настоящее время по уровню развития альтернативной энергетики Россия сильно отстает от развитых стран мира: доля ВИЭ в энергобалансе РФ менее 1 %, а в Германии

этот показатель составляет до 25 %. При этом на текущий момент Крым занимает первое место среди регионов России по имеющимся мощностям солнечной и ветровой генерации. Однако пока что эта альтернативная генерация не вписана должным образом в энергосистему Крыма. Это вызвано ключевыми и нерешенными пока окончательно проблемами солнечной и ветровой генерации, связанными с ее нестабильностью.

В мире эта проблема решается в основном в организационно-юридической плоскости: путем заключения контрактов на прием излишков энергии ВИЭ генерации. Однако в РФ такая система пока что не работает ввиду излишней бюрократизации и требований сетевых энергетических компаний заранее точно указать объем этих самых излишков, что ввиду объективных причин, при существующих технологиях, не представляется возможным [Осьмаков, 2017]. В источниках на данную тему указываются два пути решения проблемы нестабильности ВИЭ генерации: резервирование мощностей традиционной генерации и поиск новых технологий хранения энергии. Один из них дискредитирует ВИЭ энергетику, а второй не имеет готовых технологий.

Вместе с тем традиционные способы генерации электроэнергии остаются более дешевыми по сравнению с альтернативными (см. табл. 1, [Биотопливо из водорослей, 2016]).

Согласно данным табл. 1, наиболее дешевыми способами получения электроэнергии являются энергосбережение и угольные теплоэлектростанции, даже с учетом ущерба от загрязнения окружающей среды при сжигании угля [Городов, Губин, Матвеев, 2009]. Ввиду высокой стоимости оборудования, сроки окупаемости солнечных и ветряных электростанций варьируются от 7 до 15 лет [Безруких, 2015]. При этом наиболее дорогой является солнечная энергия. Более конкурентоспособны по стоимости ветровая и геотермальная энергия, но их применение ограничено природными условиями – наличием в регионе сильных ветров, близостью к поверхности геотермальных вод и т. д. В то же время энергия биомассы таких ограничений не имеет.

Таблица 1
Table 1

Средняя стоимость генерации электроэнергии из разных источников в России
[Биотопливо из водорослей, 2016]
The average cost of generating electricity from various sources in Russia
[Биотопливо из водорослей, 2016]

Способ получения электрической энергии	Стоимость, руб. / кВт*ч
Теплоэлектростанции угольные	2,0
Ветровая энергия	6,4
Геотермальная энергия	5,8
Энергия биомассы	8,0
Газопаровые турбины (комбинированные)	4,8–6,3
Атомные электростанции	12,5
Солнечные батареи с фотоэлементами	14,0
Повышение энергетической эффективности	2,0–4,0

С другой стороны, в Крыму и в других регионах России периодически происходят аварийные отключения сельской местности вследствие непогоды. Недопущение таких случаев требует создания локальных мощностей генерации, для чего предпочтительнее использовать альтернативные источники энергии.

Таким образом, решение проблемы нестабильности и повышения экономической эффективности ВИЭ генерации для ее полноценного включения в энергосистему Крыма имеет актуальность не только регионального характера, но и является значимым для России в целом.

Целью исследования является выявление экономически эффективной конфигурации системы альтернативной энергетики в Крыму. Для достижения поставленной цели требуется решение следующих *задач*:

- рассмотреть особенности, преимущества и недостатки основных видов ВИЭ: солнечной, ветровой, биогазовой энергетики;
- определить основные элементы и условия экономической эффективности системы ВИЭ энергетики в Крыму.

Основные результаты исследования

Особенности, преимущества и недостатки ветровой энергетики

Самым большим недостатком ветровых установок является нестабильность генерации, обусловленная их сильной зависимостью от погоды и места расположения. Для нормальной их работы необходим постоянный ветер, а также большая скорость ветра. Из-за нестабильности ветер не является основным источником энергии и используется в связке с другими источниками. Условия для стабильной работы ветровых установок имеются либо на побережье, либо в местах, где ветер сильный большую часть времени.

Автономные ветровые установки мощностью до 5 кВт могут обеспечивать энергией отдельно стоящие коттеджи и дома. Стоимость такой установки, в среднем, составляет 500 тыс. руб., а период окупаемости – около 10 лет [Анализ себестоимости энергии из возобновляемых источников, 2010]. Из этого следует, что ветроэнергетика имеет ярко выраженный эффект масштаба.

Основное условие для ветровой энергетики: среднегодовая скорость ветра должна быть больше 6 м/с. В силу физических особенностей ветра, экономически более выгодными оказываются крупные ветровые двигатели, которые для надежного перехвата ветра устанавливаются на большой высоте.

Большинство серийно выпускаемых крупных ветровых установок (их производство является наукоемким, поэтому выпускающих их компаний мало) рассчитано на работу при средней скорости ветра 17–58 км/ч. Требования выдвигаются как к нижнему уровню скорости ветра, так и к верхнему. Ветер со скоростью меньшей, чем 17 км/ч, дает мало энергии, а при скоростях более 58 км/ч возможно повреждение (разрушение) лопастей.

Ветровые установки не рассчитаны на шквальные, штормовые ветра. Несмотря на то, что такой ветер дает генерацию большего количества энергии, чем слабые ветры, слишком сильное давление на лопасти может их разрушить. Кроме того, продолжительность штормовых ветров мала, что делает их вклад в годовую генерацию ветровой установки весьма незначительным [Никитенко, Коноплев, 2008].

Рассмотрим природные условия для развития ветровой энергетики в Крыму. Сильные ветра преобладают в осенне-зимний период, по всему побережью полуострова дуют бризы. Наиболее подходящие условия для установки ветровых генераторов (средняя скорость ветра 6–9 м/с) в Керченском районе, западном побережье (полуостров Тарханкут) и в горах Крыма. В период с ноября по март насчитывается в среднем 90 дней с ветром от 20 до 28 м/с (см. рис. 1).

Еще одна проблема использования энергии ветра обусловлена его динамикой. Скорость ветра варьируется в широких пределах – от слабого дуновения до мощных порывов; в связи с чем меняется угловая скорость генератора. При этом бывают периоды штиля, когда ветровые генераторы вырабатывают мало электроэнергии или вообще ее не производят. В такое время необходимо увеличить выработку электроэнергии электростанциями другого типа, чтобы сохранить неизменной суммарную генерацию всей энергосистемы. Моменты, когда наступит и прекратится такой штиль, предсказать довольно затруднительно, что осложняет регулирование генерации в рамках единой энергосистемы [Никитенко, Коноплев, 2008].

Особенности, преимущества и недостатки солнечной энергетики

Солнечная энергия равномерно падает на поверхность Земли, имея везде одинаковую интенсивность. Для того чтобы обеспечить генерацию электроэнергии в промышленных масштабах, солнечную энергию нужно уловить на большой площади. Кроме того, необходимо запастись солнечную энергию, чтобы поддерживать энергоснабжение этим типом электростанции ночью и в пасмурные дни. Наступление и длительность темного времени суток заранее известны на многие годы вперед благодаря своей четкой периодичности. В то же время предсказание момента наступления и длительности пасмурных дней представляет определенную сложность ввиду низкой точности прогноза погоды. Поэтому, как и с ветровой энергетикой, возникает серьезная проблема регулирования выработки в рамках единой энергосистемы.

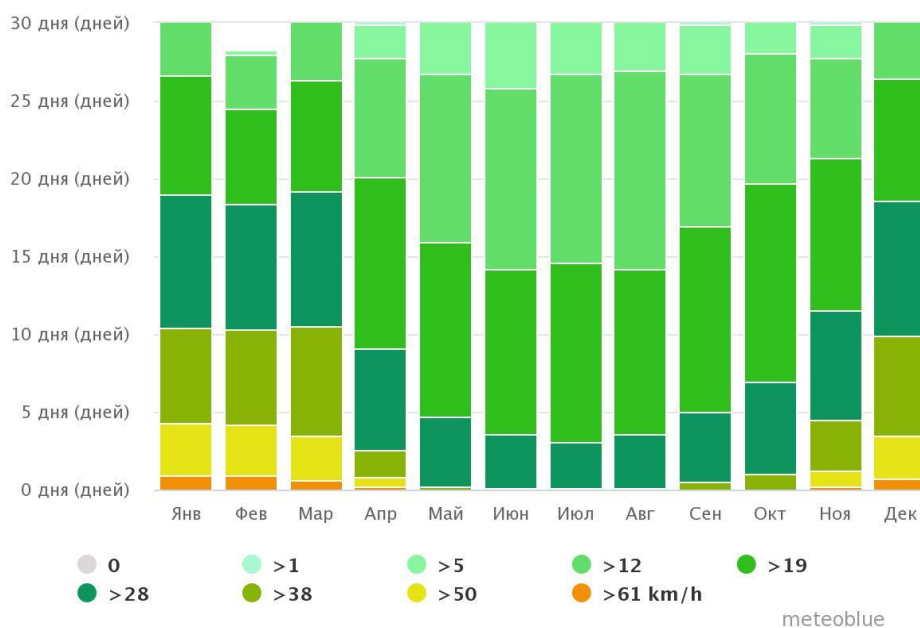


Рис. 1. Распределение скорости и длительности ветра по месяцам года в Крыму [Климат Крым]
Fig. 1. Distribution of wind speed and duration by months of the year in Crimea [Klimat Krym.]

Использование солнечной энергии имеет следующие недостатки:

- высокая цена солнечной энергии вследствие высокой стоимости оборудования и больших сроков окупаемости;
- неэффективная система продажи излишков энергии, т. к. для важных объектов она генерируется с запасом, который часто не используется;
- непостоянство генерации энергии: в ночное время суток, а также в пасмурные дни солнечная энергия слабая или отсутствует, но в сравнении с ветровой энергией она является более стабильной;
- плотность мощности солнечного излучения 170 Вт/м^2 , что больше чем у ветра, но намного меньше, чем у нефти, газа и атомной энергии.

Вместе с тем солнечная энергетика имеет ряд неоспоримых достоинств:

- обильность поступления: Землю постоянно облучает 120000 тераватт солнечного света, что во много раз превышает текущее потребление энергии;
- инновации в сфере солнечной энергии не стоят на месте. Так, лидер в производстве солнечных панелей компания Sharp внедрила технологию прозрачных накопительных элементов для остекления [Городов, Губин, Матвеев, 2009]. Другой пример: ученые Калифорнийского университета создали гибридный материал, преобразующий в электрический ток помимо видимого света Солнца также его инфракрасное излучение, что повышает КПД солнечной панели на 30 % [Zhiyuan Huang, Xin Li, Melika Mahboub etc., 2015].

Существуют два способа преобразования солнечной энергии: фототермический и фотоэлектрический. При использовании первого способа теплоноситель нагревается в коллекторе до высокой температуры и используется для нагрева воды. Коллекторы устанавливаются на крыше зданий. Солнечные нагревательные системы быстро окупаются, и потому имеет смысл включать их в проекты всех новых домов. Фотоэлектрический способ заключается в прямом преобразовании солнечной энергии в электрический ток в фотоэлементах – солнечных батареях (фотогальваника).

Удельная стоимость солнечной электростанции не зависит от ее размеров и заданной мощности. Поэтому в большинстве случаев целесообразно размещение модулей на крышах зданий. Собственники смогут отключаться от энергосистемы днем, а ночью покупать энергию по меньшему тарифу. Преимуществом также является возможность экономии на площади земли [Городов, Губин, Матвеев, 2009]. В Объединённых Арабских Эмиратах солнечные батареи используются в системе городского освещения, и к 2030 году ими будут оборудованы крыши большинства зданий. Это даст владельцам преимущества наличия своего источника энергии. Стоит также ориентироваться на опыт Израиля и Греции, где любое строительство сопровождается внедрением возобновляемой энергетики.

В Крыму актуальны такие направления развития солнечной энергетики:

- широкое внедрение солнечных систем горячего водоснабжения;
- создание локальных систем автономного солнечного электроснабжения.

Более привлекательными инвестиции в альтернативную энергетику делает «зеленый тариф» для компаний, сооружающих подобные объекты, и преференции для национальных производителей оборудования. Многие государства дотируют развитие солнечной энергетики. Так, во Франции при установке в доме солнечной батареи государство возвращает 60 % от стоимости установки [Копылов, Зерчанинова, 2009].

Работа крымских солнечных электростанций обеспечивалась за счет введенного для них на Украине «зеленого тарифа». «Зеленый тариф» составлял 0,45 евро за 1кВт*ч, что было в 9 раз больше розничной цены для украинских потребителей (0,05 евро за 1кВт*ч). В настоящее время «зеленый тариф» на порядок больше, чем цена на российском оптовом энергетическом рынке. После возвращения республики Крым и города Севастополь в состав России тарифы на электроэнергию солнечных электростанций снизились с «зеленого тарифа» 26,8 руб. за 1кВт*ч до обычного тарифа 3,4 руб. за 1кВт*ч, а дотации введены не были. [Бокова, Стоянова, Казаченко и др., 2010].

Развитие солнечной энергетики целесообразно при высокой инсоляции (количество излучения, падающее на землю за единицу времени). Среднегодовая инсоляция в Крыму составляет 5,5 кВт*ч/м² в день. Это позволяет с использованием производимых в РФ конструкций гелиоколлекторов получать в летний день 80–120 литров горячей воды (50–60 °С) с 1 м² гелиополя.

В Крыму угол падения солнечных лучей на земную поверхность в полдень летом составляет 60–68 градусов, а зимой – 22–30 градусов. Поэтому в Крыму летом солнечной энергии поступает примерно в 10 раз больше, чем зимой. Кроме того, летние и зимние месяцы в Крыму также сильно отличаются по числу солнечных дней (см. рис.2). Согласно рис. 2, более 90 % солнечных дней в Крыму приходится на период с апреля по октябрь.

Экономическую эффективность гелиоколлекторов обеспечивает снижение затрат населения на электроэнергию при ее цене 4 руб. за 1кВт*ч. Экономическая эффективность использования солнечной энергии для целей горячего водоснабжения может быть оценена также по критерию замещения солнечными установками условного топлива на выработку одного кВт*ч электроэнергии (около 0,3 кг). Для нагрева 1м³ воды от 15 °С до 55 °С, т. е. на 40 °С, необходимо затратить 50 кВт*ч электроэнергии. Производимые в РФ конструкции гелиоколлекторов обеспечивают КПД не ниже 0,6. Отсюда при замещении электрического нагрева воды солнечными установками срок окупаемости при эксплуатации только за сезон май-сентябрь (без учета повышения стоимости электроэнергии) составит около пяти лет (сезонов) при общем сроке эксплуатации не менее 10–15 лет [Макаров, Дологланян, 1992].

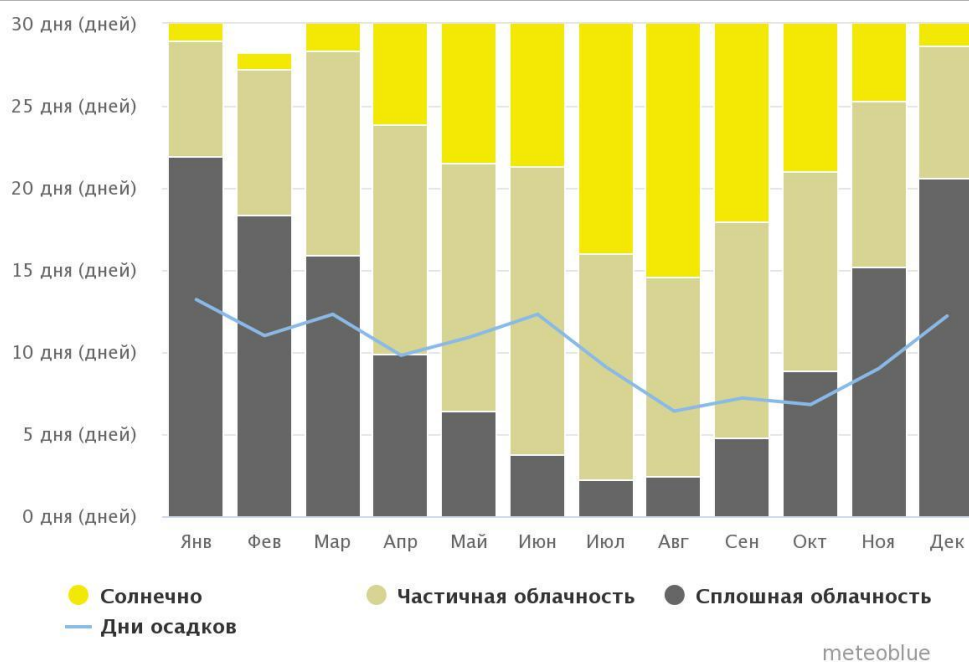


Рис. 2. Распределение ясных и облачных дней по месяцам года в Крыму [Климат Крым.]
 Fig. 2. The distribution of clear and cloudy days by months of the year in Crimea [Klimat Krym.]

Особенности, преимущества и недостатки биогазовой энергетики

Биогаз из агропромышленных и твердых бытовых отходов является перспективным видом ВИЭ. В биогазовых установках применяется первичное сырье, которое является отходами и обычно загрязняет окружающую среду: экскременты животных и другие отходы агропромышленного комплекса, твердые бытовые отходы. Такие органические вещества используются либо отдельно, либо в сочетании с другими субстратами. Биогаз имеет нестабильный состав, похожий на природный газ: метан – 55–75 %, углекислый газ – 25–45 %, а также примеси сероводорода, ароматических углеводородов, азота и др. [Городов, Губин, Матвеев, 2009].

Технология работы биогазовых установок сильно различается в зависимости от используемого типа сырья. Так, при использовании в качестве сырья экскрементов животных, ила очистных сооружений для образования биогаза достаточно поддерживать температуру от 30 до 60 °С. При таком режиме срок ферментации субстрата составляет порядка двух месяцев [Возможности комбинированных биогазовых установок, использующих возобновляемые источники энергии, 2012]. Важным побочным продуктом этого процесса являются органические удобрения.

Для разложения твердых бытовых отходов (далее ТБО) применяется технология пиролиза, требующая поддержания в пиролизных печах высоких температур: от 600 до 1200 °С. Выработка биогаза и сопутствующих продуктов (печного топлива как аналога солярки, а также твердого гудрона как дорожного покрытия) возможна в двух режимах: 500–800 °С, 800–1200 °С. Большую часть конечных продуктов пиролиза в первом режиме составляют печное топливо и твердый остаток, а во втором режиме – биогаз. Сроки разложения отходов в пиролизных печах варьируются от 12 до 36 часов [Гунич, Янчуковская, 2016]. Ввиду высоких температур реакции, для запуска пиролизных установок требуются большие первоначальные затраты энергии на нагрев пиролизных печей.

В настоящее время свалки мусора представляют большую проблему для Крыма: полигоны ТБО полуострова перегружены (70 млн м³) [Переработка и хранение ТБО в Крыму: история вопроса, перспективы развития]. Такие способы утилизации ТБО как мусоросжигательные заводы своими выбросами загрязняют атмосферу и разрушают озоновый слой, поэтому являются неприемлемыми.

С помощью внедрения биогазовых установок становится возможной почти полная переработка отходов. Экономические выгоды использования биогазовых установок таковы: при переработке тонны отходов вырабатывается 600 кВт*ч электроэнергии и 2 Гкал тепла [Пиролиз: рациональное использование ресурсов и альтернативная энергетика на базе утилизации бытовых и промышленных отходов]. Энергетический потенциал биогаза составляет 5 кВт*ч / м³ [Электроэнергия из биогаза и применение биогазовой технологии], при этом из тонны сырья (отходов) получается, в среднем, 50 м³ биогаза [Сырье для биогазовых установок]. Основные плюсы биогазовых установок таковы:

- возобновляемость такого способа генерации энергии обеспечивает человеческая деятельность, непрерывно и в больших количествах производящая отходы, которые являются потенциальным топливом;

- экологичность этого типа установок обусловлена во много раз меньшими выбросами при переработке мусора по сравнению с мусоросжигательными заводами;

- стабильность генерации энергии зависит от наличия сырья. Одна средняя станция способна перерабатывать в сутки 300 тонн бытовых отходов;

- комплексная переработка мусора позволяет уменьшить число свалок [Городов, Губин, Матвеев, 2009].

Основные достоинства получения энергии из биогаза – это экологичность и стабильность генерации, а основные недостатки связаны с подготовкой и транспортировкой отходов, а также медленным разложением сырья.

Таким образом, биогазовые установки превосходят ветровую и солнечную энергетику по своей стабильности и минимуму себестоимости. При этом экономически более выгодной является одновременная выработка газа, тепла, электроэнергии, жидкого топлива, твердого остатка, а также получение органических удобрений. Однако одновременная выработка всех перечисленных выше видов продукции на одной и той же биогазовой установке невозможна. Так, органические удобрения можно получить только в режиме ферментации с температурой от 30 до 60 °С. При температуре выше 100 °С ферментация прекращается [Возможности комбинированных биогазовых установок, использующих возобновляемые источники энергии, 2012]. Кроме того, ранее уже указывалось, что выход биогаза, жидкого топлива и твердого остатка также зависит от температурного режима.

При этом разные температурные режимы имеют разные энергозатраты. Так, минимальные затраты энергии присущи режиму ферментации от 30 до 60 °С. В разы больших затрат энергии требует средний температурный режим (500–800 °С). Еще больших (двукратно) затрат энергии требует максимальный температурный режим (800–1200 °С). Таким образом, соотношение разных видов конечных продуктов пиролиза и ферментации зависит от затрат энергии и может изменяться в зависимости от генерации электроэнергии другими источниками. При дефиците энергии для запуска пиролизных установок и нежелании ждать два месяца до окончания ферментации в биогазовых реакторах, есть возможность сушки навоза животных и птиц для последующей загрузки в котлы мини-ТЭЦ. Кроме того, биогаз можно получать при разведении сине-зеленых водорослей в закрытых прозрачным стеклянным куполом прудах [Биотопливо из водорослей, 2016].

В текущий момент времени себестоимость 1кВт*ч электроэнергии биогазовой станции составляет 7 руб., а цена электроэнергии в сети – 4 руб. за 1кВт*ч. Разница себестоимости 1кВт*ч биогазовой энергии и ее цены в сети равна 3 руб. Поэтому реализация биогазовых проектов без субсидий государства нерентабельна. Однако для покрытия превышения себестоимостью биогазовой генерации цены электроэнергии в сети вместо субсидий от государства может быть использована выручка от реализации органических удобрений. Тогда проекты биогазовой генерации будут экономически эффективными даже без субсидий.

Согласно мировому опыту, удельные капиталовложения в биогазовые станции малой мощности составляют €2000–€4500 за 1кВт*ч., а в установки большой мощности

(более 10 МВт) – €1500–€1800 за 1кВт*ч [Электроэнергия из биогаза и применение биогазовой технологии].

Минимальная мощность биогазовой станции составляет 60 кВт*ч. Такая станция уже функционирует в Республике Крым с 2016 года на полигоне ТБО в селе Тургенево Белогорского района. Планируется увеличение мощности станции в 15 раз за счет постройки пяти новых установок на полигоне. В Белгородской области РФ действует более мощная биогазовая станция: в год она из 75000 тонн ТБО вырабатывает 2,4 МВт электроэнергии [В Крыму начали получать электроэнергию из биогаза, 2016].

Условия экономической эффективности и основные элементы системы альтернативной энергетики в Крыму

Обеспечение стабильной генерации в системе альтернативной энергетики Крыма для покрытия потребностей сельских поселений, без вовлечения традиционной генерации, возможно при условии накопления излишков генерации солнечными и ветряными электростанциями, путем выработки биогаза и другого биотоплива.

Ввиду рассмотренных ранее (см. рис. 1, 2) климатических особенностей Крымского полуострова в части сезонности ветров и инсоляции, солнечные и ветряные электростанции в регионе будут иметь излишки в периоды максимальной генерации. Так, летняя инсоляция в Крыму составляет 90 % от годовой, а длительность ветреных дней в зимний период в регионе составляет 70 % от годовой. Отсюда летом в Крыму будут работать солнечные электростанции, а зимой – ветровые. Проблемой являются краткосрочные суточные перепады генерации ветровых и солнечных электростанций.

Таким образом, в Крыму роль накопителя электроэнергии может играть третий тип ВИЭ – биогазовые реакторы [Дадашев, Ванюшкин, 2017]. Как уже указывалось ранее, основным достоинством биогазовых реакторов является стабильность генерации при условии постоянного наличия сырья. Именно биогазовые станции могут обеспечить стабильную выработку электричества при перепадах генерации на солнечных и ветряных электростанциях в коротком и длинном периодах.

Очевидно, что для обеспечения стабильности генерации всей системы альтернативной энергетики региона, выработка электроэнергии биогазовыми станциями должна включаться при критическом снижении объемов солнечной и/или ветровой генерации. Для выполнения этого условия большая часть мощностей солнечной и ветровой генерации должна направляться на выработку биотоплива всех видов на биогазовых станциях. Иначе до 30 % выработанного на них биотоплива будет уходить на поддержание требуемого температурного режима пиролиза или ферментации в зимний период [Пиролиз: рациональное использование ресурсов и альтернативная энергетика на базе утилизации бытовых и промышленных отходов].

Стабилизирующая резервная роль биогазовой генерации для Крыма предполагает, что при активной пиковой солнечной и ветровой генерации в регионе биогазовые установки не простаивают, а вырабатывают биотопливо.

Одна из особенностей биогазовой генерации в том, что один из основных продуктов ее выработки – биогаз – может быть получен в пиролизных установках (800–1200 °С), требующих максимума подвода энергии, либо в биогазовых реакторах в режиме ферментации (30–60 °С), либо в нагретых солнцем закрытых прудах с сине-зелеными водорослями. В результате пиролиза при температуре 500–800°С образуется жидкое топливо, а при сушке навоза в биогазовых реакторах – твердое топливо, пригодное для загрузки в котлы мини-ТЭЦ.

Ранее было указано, что в Крыму летом преобладает солнечная энергия. Очевидно, что солнечная генерация в ночи отсутствует. В то же время известно, что вода является лучшим аккумулятором тепла благодаря ее высокой теплоемкости. Помимо гелиоколлекторов на практике используется решение, называемое «солнечный соляной пруд». Его суть заключается в том, что на дно пруда засыпается соль, которая днем через

воду нагревается солнцем до 100 °С, способствуя накоплению тепла и его длительному сохранению [Осадчий, 2012]. Тепло от солнечного соляного пруда или гелиоколлектора может передаваться к биогазовому реактору с нагретой за день в пруде водой через теплообменник. Помимо этого, теплообменник может передавать тепло воде из водопровода, используемой для бытовых нужд, либо для выработки электроэнергии с помощью малых гидропаровых турбин. Опытный образец гидропаровой турбины был изготовлен ЗАО НПВП «Турбокон» (г. Калуга) [Технология производства электроэнергии с использованием горячей воды водогрейных котлов, 2015].

Все вышеприведенные аргументы касательно системы альтернативной энергетики в Крыму обобщены ниже, на рис. 3.

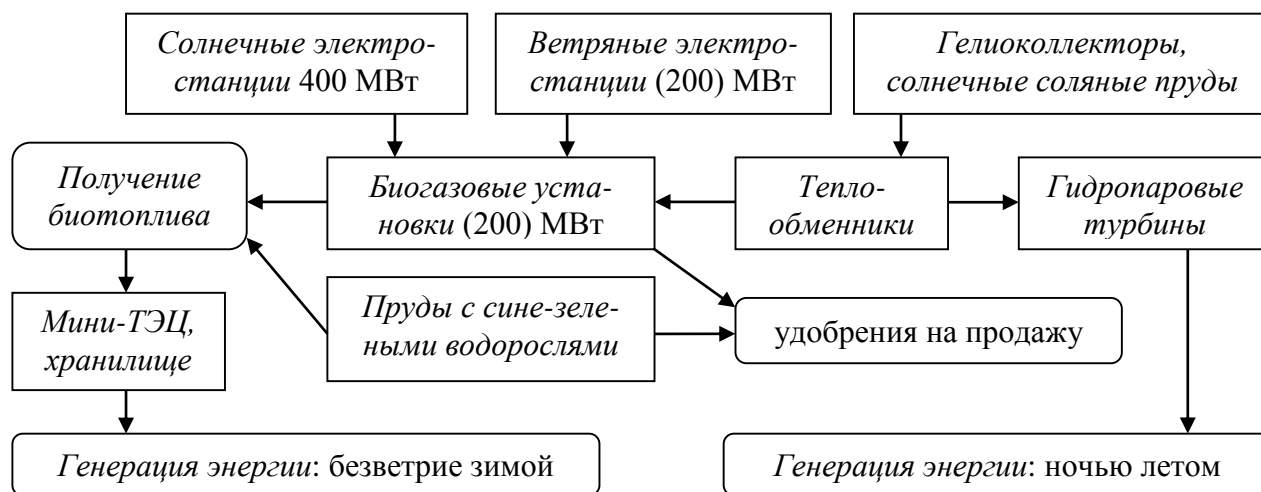


Рис. 3. Конфигурация системы альтернативной энергетики в Крыму, обеспечивающая ее экономическую эффективность

Fig. 3. Configuration of an alternative energy system in Crimea, which provides its economic efficiency

В скобках на рис. 3 показана перспективная мощность биогазовой и ветровой генерации для Крыма – 200 МВт. На текущий момент мощность ветровой генерации в Крыму составляет порядка 80 МВт, а промышленно значимая биогазовая генерация отсутствует. Перспективная мощность в 200 МВт была определена нами, исходя из следующих предпосылок.

Ввиду недавнего запуска двух новых ТЭЦ в Крыму, а также прогноза роста потребления электроэнергии в городах полуострова, независимая от погоды и стабильная биогазовая генерация лучше всего подходит для покрытия дефицита электроэнергии в сельских районах, возникающего также и из-за непогоды. Пиковое потребление электроэнергии в Крыму составляет 1200 МВт*ч [16]. Население Крыма насчитывает до 3 млн чел., в т. ч. в сельских районах – 900 тыс. чел. [Население Крыма и Севастополя]. В Крыму на долю населения приходится до 50 % потребления электроэнергии [Электроэнергетика Крымского полуострова]. Отсюда перспективная мощность биогазовой генерации равна: $0,46 * 1200 * (900 / 2340) = 212$ МВт, округленно 200 МВт. Очевидно, что мощность ветровой генерации в Крыму нужно увеличить до этого значения.

Конфигурация экономически эффективной системы альтернативной энергетики в Крыму

Приведенная на рис. 3 конфигурация системы альтернативной энергетики в Крыму нуждается в детализации алгоритма работы этой системы в разных возможных ситуациях, учитывающих неравномерность выработки электроэнергии солнечными и ветровыми установками.

Первый тип возможной ежедневной ситуации – пик выработки в летние месяцы солнечной генерации. В этом случае все мощности биогазовых установок региона должны

будут генерировать биотопливо, в т. ч. биогаз. Второй тип возможной ежедневной ситуации похож на первый, с той разницей, что при меньшем поступлении энергии солнца из-за переменной облачности вырабатывается печное топливо. Третий тип возможной ежедневной ситуации учитывает то, что зимой в Крыму ветер может дуть без перерыва в течение нескольких суток. Если сила ветра такова, что задействуется 100 % мощностей ветровой генерации региона, то биогазовые станции могут вырабатывать и складировать биогаз и печное топливо без генерации электроэнергии.

Четвертый тип возможной ситуации заключается в том, что при снижении силы ветра и энергии от него до средних величин биогазовые установки вместо биогаза вырабатывают печное топливо. Пятый тип возможной ситуации аналогичен четвертому: при приближении силы ветра и генерации энергии от него к минимуму в биогазовых установках происходит только сушка навоза.

Шестой тип возможной ситуации связан с отсутствием генерации на солнечных электростанциях ночью летом. Аккумулирование тепла в гелиоколлекторах или в солнечных соляных прудах позволяет через теплообменники направлять его на гидропаровые турбины и избегать лишних затрат энергии.

Седьмой тип возможной ежедневной ситуации связан с отсутствием одновременно солнечной и ветровой генерации. В данной ситуации нехватка электроэнергии восполняется за счет ее генерации биогазовыми станциями.

Рассмотренные семь возможных ситуаций формализованы в виде алгоритма работы системы альтернативной энергетики в Крыму (см. рис. 4).

Работоспособность приведенного на рис. 4 алгоритма зависит от внедрения так называемых «умных сетей» (“Smart Grid”). «Умные сети» позволяют перераспределять нагрузку на разные мощности генерации, исходя из изменения выработки и потребления электроэнергии [Умные сети. Интеллектуальные сети электроснабжения]. Для альтернативной энергетики «умные сети» также дают возможность своевременного переключения между видами генерации. При достаточности мощностей это устраняет проблему непостоянства генерации.

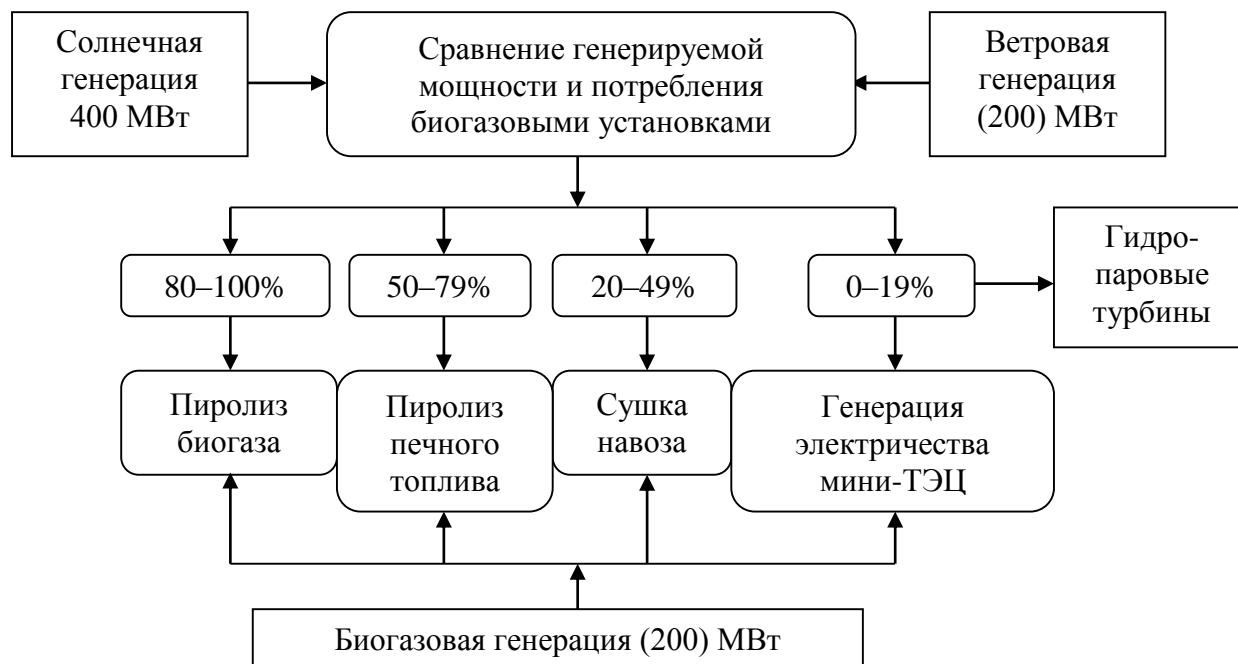


Рис. 4. Алгоритм работы системы альтернативной энергетики в Крыму

Fig. 4. The algorithm of the alternative energy system in the Crimea

Рассчитаем инвестиционные параметры создания экономически эффективной системы альтернативной электроэнергетики в Крыму, показанной на рис. 3. Самый крупный

элемент инвестиционных расходов данной системы – увеличение биогазовой генерации в Крыму в *2000 раз*. Исходя из оценочного размера удельных капитальных затрат в \$ 1800 за 1кВт*ч, сооружения новых мощностей генерации в 200 МВт, получаем \$ 360 млн. При планируемой мощности генерации в 200 МВт, энергетического потенциала биогаза 5 кВт*ч/м³ объем требуемой единовременной выработки биогаза составляет 40 тыс. м³. В среднем одна биогазовая станция способна вырабатывать до двух тонн или 2500 м³ биогаза в сутки [Технические и эксплуатационные характеристики разных комплектаций пиролизной установки «Пиротекс»]. В то же время требуемая мощность должна выдаваться каждый час. Отсюда находим требуемое количество биогазовых установок в Крыму: $40000 * 24 / 2500 = 384$ ед. При этом мощность одной установки составит: $200000 / 384 = 520$ кВт.

Вторым элементом инвестиционных расходов на создание экономически эффективной системы альтернативной электроэнергетики в Крыму является увеличение ветровой генерации в регионе в 2,5 раза. Исходя из стоимости \$ 1млн за 1МВт, прироста мощности генерации в 120 МВт, получаем \$ 120 млн.

Третий элемент инвестиционных расходов связан с сооружением мини-ТЭЦ. В среднем стоимость одной мини-ТЭЦ по РФ составляет \$ 180 тыс. [Газовые электростанции 500 кВт]. Мощность одной мини-ТЭЦ составляет 500 кВт. Поэтому количество мини-ТЭЦ аналогично количеству биогазовых станций – 384 единицы. С учетом стоимости единицы, расходы на 384 мини-ТЭЦ составят около \$ 70 млн.

Следующий элемент инвестиционных расходов подразумевает строительство солнечных соляных прудов и прудов с сине-зелеными водорослями. Минимальная стоимость строительства одного пруда 100 м² составляет \$ 15 тыс. [Строительство прудов и водопадов]. При условии по одному солнечному соляному пруду на каждую мини-ТЭЦ плюс столько же прудов с сине-зелеными водорослями, расходы составят \$ 12 млн.

Последний важный элемент инвестиционных расходов – гидропаровые турбины. Ввиду отсутствия серийного производства гидропаровых турбин, данные об их стоимости отсутствуют. Основываясь на характеристиках этих турбин, можно предположить, что при аналогичной мини-ТЭЦ мощности (500 кВт), стоимость одной установки составит 50–60 % от стоимости мини-ТЭЦ, т. е. \$ 100 тыс. Тогда стоимость 384 гидропаровых турбин составит \$ 38 млн.

С учетом текущих реалий, для Крыма \$600 млн – огромный объем средств, который привлечь единовременно невозможно. Построить 200 МВт биогазовой и 120 МВт ветровой генерации за один год также нереально.

Поэтому представляется целесообразным растянуть создание целевых мощностей биогазовой и ветровой генерации в Крыму на 10 лет. Немаловажно, что поэтапное инвестирование в данном случае также в разы снижает риски инвестора. Минимальная мощность биогазовой и ветровой генерации низкая. Это дает возможность разделить инвестиции на транши. Тогда каждый ежегодный транш инвестиций будет создавать актив, способный самостоятельно генерировать доход. Если уже построенные мощности приносят доход, инвестор принимает решение о дальнейшем инвестировании, т. е. выделении следующего транша финансирования. Для гарантированного достижения приемлемой рентабельности инвестиций и срока окупаемости (6–8 лет) биогазовой и ветровой генерации желательно установление «зеленого тарифа» на уровне не ниже 8 руб. за 1кВт*ч.

Основные выводы

Изучение особенностей солнечной, ветровой и биогазовой энергетики в целом, а также во взаимосвязи с климатическими особенностями Крыма позволило определить конфигурацию экономически эффективной системы ВИЭ генерации для энергоснабжения сельских районов полуострова. Элементами перспективной системы ВИЭ генерации в Крыму являются: наличные солнечные электростанции (400 МВт), действующие и планируемые ветряные электростанции (200 МВт), планируемые биогазовые установки и мини-ТЭЦ (200 МВт). Помимо этого, в целях повышения экономической эффективности системы ВИЭ генерации в Крыму необходимы

солнечные соляные пруды, пруды с сине-зелеными водорослями, а также гидропаровые турбины и теплообменники для поддержания температурного режима ферментации в биогазовых реакторах и выработки электроэнергии ночью летом.

Обосновано, что главную роль в обеспечении стабильной генерации системы ВИЭ энергетики Крыма играют биогазовые станции. При этом для реализации конфигурации системы ВИЭ генерации мощность биогазовой генерации в Крыму должна быть наращена в 2000 раз. Расчетное количество биогазовых станций и мини-ТЭЦ мощностью 500 кВт каждая составило 384 единицы. С учетом удельных затрат на единицу оборудования, стоимость такого решения составляет \$ 430 млн.

Выявлено, что климатические особенности Крыма обеспечивают пик мощности солнечной генерации летом и ветровой – зимой. В период с апреля по октябрь целесообразной является работа солнечных электростанций, а в период с ноября по март – ветровых. Мощности ветровой генерации в Крыму должны быть наращены в 2,5 раза, с 80 до 200 МВт. Стоимость такого решения составляет \$ 120 млн.

Обосновано, что ввиду огромной стоимости и требуемой мощности процесс строительства в Крыму новых биогазовых и ветровых электростанций целесообразно растянуть минимум на 10 лет.

В результате анализа возможных типовых ситуаций в энергосистеме из трех видов альтернативной энергии – солнечной, ветровой и биогазовой – сформирован концептуальный алгоритм работы системы ВИЭ генерации в Крыму. Путем соотнесения мощности, генерируемой солнечными и ветровыми установками, с потребностью в ней для работы биогазовых станций, данный алгоритм позволяет выбрать один из четырех возможных режимов биогазовой генерации:

- выработка и складирование биогаза без генерации электроэнергии;
- выработка и складирование печного топлива без генерации электроэнергии;
- генерация электроэнергии биогазовыми установками;
- ферментация биогаза бактериями, сушка навоза или получение удобрений.

Обосновано, что для приемлемой рентабельности и срока окупаемости проектов биогазовой и ветровой генерации необходима выработка и продажа сельскохозяйственным предприятиям органических удобрений, а также введение «зеленого тарифа» на ВИЭ на уровне не ниже 8 руб. за 1кВт*ч.

Список литературы

1. Анализ себестоимости энергии из возобновляемых источников. 2010. URL: http://www.cleandex.ru/articles/2010/08/23/renewables_2009_cost_of_energy.
2. Безруких П.П. 2015. Эффективность возобновляемой энергетики. Мифы и факты. Вестник аграрной науки Дона. № 29. С. 5–17.
3. Биотопливо из водорослей. 2016. URL: <http://www.cleandex.ru/articles/2016/01/19/aglae-biofuels>.
4. В Крыму начали получать электроэнергию из биогаза. 2016. URL: <http://www.interfax.ru/russia/488956>.
5. Возможности комбинированных биогазовых установок, использующих возобновляемые источники энергии. 2012. URL: <https://www.agroxxi.ru/stati/vozmozhnosti-kombinirovanyh-biogazovyh-ustanovok-ispolzuyushih-vozobnovljaemye-istochniki-yenergi.html>.
6. Газовые электростанции 500 кВт. URL: <https://www.sklad-generator.ru/elektrostantsii/500-kvt/gazovye/>.
7. Городов Р.В., Губин В.Е., Матвеев А.С. 2009. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Томск.: Томский политехнический университет. 294 с.
8. Гунич С.В., Янчуковская Е.В. 2016. Анализ процессов пиролиза отходов производства и потребления. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. № 16. С. 86–93.
9. Дадашев Б.А., Ванюшкин А.С. 2017. Биогазовые станции как ключевое звено системы альтернативной энергетики на Крымском полуострове. Актуальные проблемы междисциплинарных исследований истории, культуры и экономики Крыма: материалы всероссийской науч.-практ. конф. 14–15 декабря 2017 г., Симферополь. С. 92–97.

10. Климат Крыма. URL: <https://www.meteoblue.com/ru/погода/прогноз/modelclimate/>.
11. Копылов А.Е., Зерчанинова И.Л. 2009. Механизм «зеленых» сертификатов возобновляемой энергии и возможности его использования в России. URL: http://esco.co.ua/journal/2009_10/art142.pdf.
12. Макаров В.В., Дологлоня А.В. 1992. Методика определения дневной теплопроизводительности солнечных коллекторов: отчет о НИР. ТЦ «Крым экология». Шифр темы: КРЭК 205/3 ГРН№0192U028800. Севастополь, 48 с.
13. Микрогенерация на ВИЭ: мировой опыт и перспективы в России. 2017. Энергетический бюллетень. № 49. с. 14–19. URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/13570.pdf>.
14. Никитенко Г.В., Коноплев Е.В. 2008. Ветроэнергетические установки в системах автономного электроснабжения. Ставрополь: АГРУС, 184 с.
15. Население Крыма и Севастополя. URL: <http://www.statdata.ru/naselenie-krima-i-sevastopolya>.
16. Объем потребления электроэнергии в Крыму достиг предела. URL: <https://ria.ru/20170807/1499927795.html>.
17. Осьмаков В. 2017. Ватты и технологии 2: барьеры и перспективы развития ВИЭ в России, URL: <http://www.forbes.ru/tehnologii/350445-vatty-i-tehnologii-2-barery-i-perspektivy-razvitiya-vie-v-rossii>.
18. Осадчий Г.Б. Соляной пруд. Солнечный коллектор и тепловой аккумулятор одновременно. URL: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/514>.
19. Переработка и хранение ТБО в Крыму: история вопроса, перспективы развития. URL: <http://roshlam.ru/news/russia/pererabotka-i-hranenie-tbo-v-krimu-istoriya-voprosa-perspektivi-razvitiya-chast-1>.
20. Пиролиз: рациональное использование ресурсов и альтернативная энергетика на базе утилизации бытовых и промышленных отходов. URL: <http://www.splainex.com/waste-pyrolysis-rus.htm>.
21. Российская возобновляемая энергетика: национальный стартап. 2013. URL: http://www.rusnano.com/upload/images/sitefiles/files/Presentation_Energy_Efficiency_ENES2013.pdf.
22. Солнечная энергетика в Крыму. URL: http://journal.esco.co.ua/2010_6/art286.pdf.
23. Строительство прудов и водопадов. URL: <http://pruddecor.ru/iskusstvennyj-prud-10-10-2m#r4>.
24. Сырье для биогазовых установок. URL: <http://biogaz-russia.ru/syrje-dlya-biogaza/>.
25. Технология производства электроэнергии с использованием горячей воды водогрейных котлов. 2015. URL: <http://turboconkaluga.ru/techhot.shtml>.
26. Технические и эксплуатационные характеристики разных комплектаций пиролизной установки «Пиротекс». URL: <http://www.tkomplex.ru/ru/products/pirotex/pyrolysis-plant-specifications>.
27. Умные сети. Интеллектуальные сети электроснабжения URL: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Smart_Grid.
28. Электроэнергия из биогаза и применение биогазовой технологии. URL: <http://biogaz-russia.ru/ehlektroehnergiya-iz-biogaza/>.
29. Электроэнергетика Крымского полуострова. URL: <http://newsruss.ru/doc/index.php/>.
30. Zhiyuan Huang, Xin Li, Melika Mahboub, and etc. 2015. Hybrid Molecule–Nanocrystal Photon Upconversion Across the Visible and Near-Infrared. URL: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.nanolett.5b02130?journalCode=nalefd>.

References

1. Analiz sebestoimosti jenerгии iz vozobnovljaemyh istochnikov [Analysis of the cost of renewable energy]. 2010. Available at: http://www.cleandex.ru/articles/2010/08/23/renewables2009_cost_of_energy.
2. Bezrukih P.P. 2015. Jefferktivnost' vozobnovljaemoj jenergetiki [Efficiency of renewable power. Myths and facts. Don's Journal of Agrarian Science]. Mify i fakty. Vestnik agrarnoj nauki Dona. № 29. S. 5–17.
3. Biotoplivo iz vodoroslej [Biofuel from seaweed]. 2016. Available at: <http://www.cleandex.ru/articles/2016/01/19/aglae-biofuels>.
4. V Krymu nachali poluchat' jelektrojenergiju iz biogaza [In Crimea began to receive electricity from biogas]. 2016. Available at: <http://www.interfax.ru/russia/488956>.
5. Vozmozhnosti kombinirovannyh biogazovyh ustanovok, ispol'zujushih vozobnovljaemye istochniki jenerгии [Capabilities of combined biogas plants using renewable energy sources]. 2012. Available at:

<https://www.agroxxi.ru/stati/vozmozhnosti-kombinirovanyh-biogazovyh-ustanovok-ispolzuyushih-vozobno-vljaemye-istochniki-yenergi.html>.

6. Gazovye jelektrostantsii 500 kVt [500 kW gas power plants]. Available at: <https://www.sklad-generator.ru/elektrostantsii/500-kvt/gazovye/>.

7. Gorodov R.V., Gubin V.E., Matveev A.S. 2009. Netradicionnye i vozobnovljaemye istochniki jenerгии [Alternative and renewable energy sources]. Tomsk: Tomskij politehnicheskij universitet, 294 s.

8. Gunich S.V., Janchukovskaja E.V. 2016. Analiz processov piroliza othodov proizvodstva i potreblenija [Analysis of pyrolysis processes of production and consumption wastes. News of higher education institutions. Applied Chemistry and Biotechnology]. *Izvestija vuzov. Prikladnaja himija i biotehnologija*. № 16. S. 86–93.

9. Dadashev B.A., Vanjushkin A.S. 2017. Biogazovye stancii kak kljuchevoe zveno sistemy al'ternativnoj jenergetiki na Krymskom poluostrove [Biogas stations as a key link of the alternative energy system on the Crimean peninsula. Topical problems of interdisciplinary research of the history, culture and economy of Crimea: materials of the All-Russian scientific and practical conference]. *Aktual'nye problemy mezhdisciplinarnyh issledovanij istorii, kul'tury i jekonomiki Kryma: materialy vsrossijskoj nauch.-prakt. konf. 14–15 dekabrja 2017 g. Simferopol'*. S. 92–97.

10. Klimat Krym [Climate of the Crimea]. Available at: https://www.meteoblue.com/ru/pogoda/prognoz/modelclimate/Krym_Rossija_540259.

11. Kopylov A.E., Zerchaninova I.L. 2009. Mehanizm «zelenyh» sertifikatov vozobnovljaemoj jenerгии i vozmozhnosti ego ispol'zovanija v Rossii [Mechanism of "green" certificates of renewable energy and possibilities of its use in Russia]. Available at: http://esco.co.ua/journal/2009_10/art142.pdf.

12. Makarov V.V., Dologlonjan A.V. Metodika opredelenija dnevnoj teplo- proizvoditel'nosti solnechnyh kollektorov: otchet o NIR. TC «Krym jekologija» [Method of determining the daily heat and performance of solar collectors: NIR report. Shopping Center Krym ekologiya.]. Shifr temy: KRJeK 205/3 GR№0192U028800. Sevastopol'. 1992. 48 s.

13. Mikrogeneracija na VIJe: mirovoj opyt i perspektivy v Rossii [Microgeneration at RES: world experience and prospects in Russia. 2017. Power bulletin]. *Jenergeticheskij bjulleten'*. 2017. № 49. s. 14–19. URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/13570.pdf>.

14. Nikitenko G.V., Konoplev E.V. 2008. Vetrojenergeticheskie ustanovki v sistemah avtonomnogo jelektrosnabzhenija [Nikitenko G.V., Konoplev E.V. 2008. Wind power plants in autonomous power supply systems. Stavropol: AGRUS]. Stavropol': AGRUS, 184 s.

15. Naselenie Kryma i Sevastopolja [Population of Crimea and Sevastopol]. Available at: <http://www.statdata.ru/naselenie-krima-i-sevastopolya>.

16. Objem potreblenija jelektrojenerгии v Krymu dostig predela [Electricity consumption in Crimea reached the limit]. Available at: <https://ria.ru/20170807/1499927795.html>.

17. Os'makov V. 2017. Vatty i tehnologii 2: bar'ery i perspektivy razvitija VIJe v Rossii [Watts and Technologies 2: Barriers and Prospects for RE Development in Russia]. *Forbes*. Available at: <http://www.forbes.ru/tehnologii/350445-vatty-i-tehnologii-2-barery-i-perspektivy-razvitiya-vie-v-rossii>.

18. Osadchij G.B. Sol'janij prud. Solnechnyj kollektor i teplovoj akkumuljator odnovenno [Salt pond. Solar collector and heat accumulator at the same time]. Available at: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/514>.

19. Pererabotka i hranenie TBO v Krymu: istorija voprosa, perspektivy razvitija [Processing and storage of TBT in Crimea: history of the issue, prospects for development]. Available at: <http://roshlam.ru/news/russia/pererabotka-i-hranenie-tbo-v-krimu-istoriya-voprosa-perspektivi-razvitiya-chast-1>.

20. Piroliz: racional'noe ispol'zovanie resursov i al'ternativnaja jenergetika na baze utilizacii bytovyh i promyshlennyh othodov [Pyrolysis: Resource Management and Alternative Energy Based on Domestic and Industrial Waste Management]. Available at: <http://www.splainex.com/waste-pyrolysis-rus.htm>.

21. Rossijskaja vozobnovljaemaja jenergetika: nacional'nyj startap [Russian renewable energy: a national startup]. 2013. Available at: http://www.rusnano.com/upload/images/sitefiles/files/Presentation_Energy_Efficiency_ENES2013.pdf.

22. Solnechnaja jenergetika v Krymu [Solar energy in Crimea]. 2010. Available at: http://journal.esco.co.ua/2010_6/art286.pdf.

23. Stroitel'stvo prudov i vodopadov [Construction of ponds and waterfalls.]. Available at: <http://pruddecor.ru/iskusstvennyj-prud-10-10-2m#r4>.

24. Syr'e dlja biogazovyh ustanovok [Raw materials for biogas plants.]. Available at: <http://biogaz-russia.ru/syrje-dlya-biogaza/>.

25. Tehnologija proizvodstva jelektroenergii s ispol'zovaniem gorjachej vody vodogrejnyh kotlov [Hot Water Power Generation Technology for Hot Water Boilers]. Available at: <http://turboconkaluga.ru/techhot.shtml>, 2015.

26. Tehnicheskie i jekspluacionnye harakteristiki raznyh komplektacij piroliznoj ustanovki «Piroteks» [Technical and operational characteristics of different sets of pyrolysis plant "Pyrotex"]. Available at: <http://www.tkomplex.ru/ru/products/pirotex/pyrolysis-plant-specifications>.

27. Umnye seti. Intellektual'nye seti jelektrosnabzhenija [Umnye seti. Intellektual'nye seti jelektrosnabzhenija]. Available at: http://www.tadviser.ru/index.php/Stat'ja:Smart_Grid.

28. Jelektroenergija iz biogaza i primenenie biogazovoj tehnologii [Jelektroenergija iz biogaza i primenenie biogazovoj tehnologii]. Available at: <http://biogaz-russia.ru/ehlektroehnergiya-iz-biogaza/>.

29. Jelektroenergetika Krymskogo poluostrova [Jelektroenergetika Krymskogo poluostrova]. Available at: <http://newsruss.ru/doc/index.php/>.

30. Zhiyuan Huang, Xin Li, Melika Mahboub, and etc. 2015. Hybrid Molecule–Nanocrystal Photon Upconversion Across the Visible and Near-Infrared. Available at: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.nanolett.5b02130?journalCode=nalefd>.

Ссылка для цитирования статьи Reference to article

Ванюшкин А.С., Дадашев Б.А. 2020. Экономическая эффективность конфигурации системы альтернативной энергетики в Крыму. Экономика. Информатика. 47 (1): 67–81. DOI:

Vanushkin A.S., Dadashev B.A. 2020. Economic efficiency of configuration of alternative energy system in Crimea. Economics. Information technologies. 47 (1): 67–81 (in Russian). DOI: