

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук,
профессора кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии» ФГБОУ
ВО «НИУ «МЭИ» Тягунова Михаила Георгиевича
на диссертационную работу Габдерахмановой Татьяны Сергеевны
«Исследование энергетической и экономической эффективности фотоэлектрических
систем микрогенерации в условиях Российской Федерации», представленной к защите
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.14.01 – энергетические системы и комплексы

Диссертация Т.С.Габдерахмановой посвящена анализу технико-экономической эффективности фотоэлектрических систем (ФЭС) микрогенерации в регионах Российской Федерации и поиску оптимальных технических решений, обеспечивающих целесообразность использования таких систем конечными потребителями.

Актуальность темы диссертации Т.С. Габдерахмановой определяется тем, что внедрение систем микрогенерации на основе фотоэлектрических установок стало в последние годы одним из приоритетных направлений развития энергетики в мире. В ряде стран – особенно европейских – мощность микрогенерации достигла таких высоких значений, что были приняты решения об ограничении ее дальнейшего распространения. В частности, отменены многочисленные ранее принятые меры государственной поддержки микрогенерации.

В России развитие энергетики на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в значительной степени связано с освоением удаленных и труднодоступных районов, не имеющих связи с централизованными системами электроснабжения. Мощность потребителей таких энергосистем различна, и определяется назначением потребителей электроэнергии. Изолированные непромышленные потребители чаще всего имеют мощность порядка 15 кВт и менее, что сделало актуальным разработку закона «О внесении изменений в Федеральный закон «Об электроэнергетике» в части развития микрогенерации», обсуждение которого проходит в Государственно Думе России.

Однако, системы микрогенерации находят использование не только в изолированных энергорайонах, но и в районах, имеющих распределительную сеть централизованного электроснабжения. Также следует иметь в виду, что сегодняшние изолированные энергорайоны в будущем могут быть подключены к ЕЭС России.

Для развития обеих частей энергетики, отнесенных к области микрогенерации, важно правильно оценить энергетическую эффективность и инвестиционную привлекательность систем микрогенерации на основе солнечных фотоэлектрических установок (СФЭУ) для различных районов страны, чему и посвящена диссертационная работа Т.С.Габдерахмановой.

Объектом исследования являются фотоэлектрические системы (ФЭС) микрогенерации мощностью до 15 кВт с двусторонней связью с электрической сетью.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

– Получены и представлены результаты испытаний свинцово-кислотных аккумуляторных батарей в составе ФЭС микрогенерации;

– Выявлена экономически целесообразная конфигурация ФЭС микрогенерации для ряда регионов России, а также условия, при которых выявленная экономическая целесообразность может быть достигнута;

– Количественно обоснована эффективность использования излишков фотоэлектрической мощности для горячего водоснабжения потребителей. Выявлены условия, при которых это схемное решение является более предпочтительным по сравнению со схемами использования СФЭУ только для электроснабжения потребителей.

Теоретическая и практическая значимость работы

Результаты работы могут быть использованы при разработке законодательных актов, регламентирующих развитие микрогенерации на основе ВИЭ. Результаты технико-экономического анализа представляют интерес для конечных потребителей электроэнергии и тепла, позволяя оценить экономически целесообразные состав и параметры ФЭС микрогенерации. Существенным для потребителя также являются практические рекомендации по эксплуатации свинцово-кислотных аккумуляторных батарей в составе ФЭС микрогенерации.

Предложенные автором диссертации методические подходы к оценке технико-экономической эффективности ФЭС микрогенерации дополняют существующие методы технико-экономического обоснования проектируемых ФЭС, распространяя их на системы микрогенерации.

Апробация работы. Основные положения диссертации представлены и обсуждены на российских и международных конференциях и отражены в списке опубликованных автором работ, среди которых 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, и 2 статьи в базе цитирования Scopus.

Структура и объем диссертационной работы

Диссертация изложена на 152 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения, одного приложения и списка литературы из 138 наименований.

Во введении сформулированы актуальность темы исследования, цель и задачи, научная новизна, практическая значимость исследования, приведены основные положения, вынесенные на защиту.

Первая глава посвящена анализу современного состояния исследований и разработок в области повышения эффективности фотоэлектрических систем в России и мире. Выполнен анализ рынка солнечной энергетики, механизмов поддержки, применяемых для его развития. Детально рассмотрены системы микрогенерации с использованием фотоэлектрических систем и проблемы, связанные с достижением ими энергетической и экономической эффективности.

Вторая глава посвящена описанию проведенных экспериментальных исследований, математического моделирования и верификации модели ФЭС с аккумулятором, работающей в условиях Московского региона.

В первой части главы описаны состав и особенности схемной реализации автономной ФЭС, состав и принципы работы системы контроля и управления ФЭС, а также системы сбора данных. Обоснован регламент мониторинга энергетических параметров ФЭС, приведена методика испытаний и алгоритм обработки результатов. Изложены наиболее значимые результаты экспериментальных исследований работы автономной ФЭС с аккумулятированием электрической энергии.

Вторая часть главы посвящена вопросу создания имитационной модели экспериментальной ФЭС в среде TRNSYS и ее верификации по данным экспериментальных исследований. Для верификации модели использовались экспериментальные данные о производительности отдельно фотоэлектрических модулей и всей установки, а также актинометрические измерения, полученные в ходе длительной работы установки. Продемонстрирована достаточная согласованность расчетных и экспериментальных данных, что свидетельствует об адекватности компонентов имитационной модели и возможности их использования для дальнейших исследований. Кроме того, показана возможность применения разработанной модели для математического моделирования в других климатических условиях.

В третьей главе приведены разработанные автором методические подходы к моделированию и результаты оптимизации состава ФЭС микрогенерации в нескольких регионах РФ. Обоснован выбор регионов и предложенных схемных решений. Автором рассмотрены 3 схемных решения работы ФЭС с сетью: без накопителей энергии, со свинцово-кислотной аккумуляторной батареей и накопителем тепловой энергии в виде водонагревателя.

Модель каждой из схем построена на основе верифицированной на предыдущем этапе математической модели в среде TRNSYS. В процессе параметрических исследований проанализирована чувствительность коэффициентов самопотребления и баланса энергии к параметрам исследуемых систем (установленной мощности ФЭС, полезной емкости электрохимического накопителя энергии и нагрузки ГВС), а также к форме графика суточного электропотребления (рассмотрено 3 типа суточного графика нагрузки ФЭС). Результаты параметрических исследований представлены в виде диаграмм, позволяющих выявить диапазоны параметров компонентов систем, обеспечивающих наибольшие значения коэффициента самопотребления.

В четвертой главе проведен сравнительный анализ технико-экономической эффективности ФЭС трех конфигураций на основе результатов моделирования, полученных на предыдущем этапе исследования. Целесообразность использования ФЭС оценивалась по конечной стоимости потребляемой просьюмером электрической энергии. Экономическая оценка выполнена с использованием метода аннуитета для инвестиционного периода, равного 20 годам.

Автором рассмотрено несколько сценариев расчета, отличающихся стоимостными характеристиками оборудования ФЭС и тарифными решениями: (1) базовый, предполагающий текущие цены на оборудование и тарифные решения, (2) сценарий, предполагающий снижение цен на ФЭМ и накопители электрической энергии на 40% при текущих тарифных решениях, (3) сценарий, предполагающий равенство сбытовых цен розничным в ценовых зонах электроэнергетического рынка РФ.

По результатам расчетов для каждого из пяти рассмотренных регионов с учетом присущих им климатических и тарифных особенностей получены графические диаграммы, позволяющие выделить конфигурацию и параметры, обеспечивающие экономическую целесообразность ФЭС микрогенерации, условия, при которых она может быть достигнута. Обозначены условия, при которых схемное решение, содержащее водонагреватель, является конкурентоспособным. Показана нецелесообразность использования фотоэлектрических систем микрогенерации в ценовых зонах электроэнергетического рынка.

В **заключительной части** сформулированы основные результаты диссертационного исследования.

Содержание автореферата отражает основное содержание диссертации.

Личный вклад автора: Все положения, выносимые на защиту, получены лично автором или при его определяющем участии.

Основные положения диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях Российской Федерации и за рубежом.

Замечания и вопросы по диссертационной работе

1. В работе **нет терминологического единства**: объект исследования называется то фотоэлектрической установкой, то фотоэлектрическим модулем (ФЭМ), то массивом ФЭМ, то фотоэлектрической системой (ФЭС) микрогенерации. В результате не всегда ясно из чего же состоит рассматриваемый в каждом конкретном месте объект.
2. Автором использовано необоснованно малое количество работ российских исследователей (16 научных публикаций из 138 наименований, в том числе 6 собственных публикаций автора), хотя из названия следует, что исследование проводилось именно для Российской Федерации. Отсюда некоторые явно **необоснованные утверждения о новизне предложения использовать избыточную выработку ФЭУ для производства тепла**, хотя в отечественной литературе последних 10 лет можно назвать не менее 10 публикаций, где эта проблем решается с помощью различных конфигураций ФЭС.
3. Особенности использования накопителей энергии в микросетях связаны не только с тем, что «аккумулятор малой емкости ... будет иметь меньший срок службы из-за ограниченного ресурса циклов заряда/разряда, в то время как батарея большой емкости позволит сократить количество циклов и глубину разряда, и, соответственно, увеличить срок службы батареи [53, 54]. Наращивание мощности системы НЭЭ, в свою очередь, сопряжено с ростом капитальных затрат [55, 52]» (стр. 31 диссертации), но и с тем, что **аккумуляторы большей емкости имеют меньшую скорость набора и сброса нагрузки**, что делает различными динамические характеристики аккумуляторов разной емкости и конструкции.
4. Неясно как автор рассматривает работу ФЭС с микрогенерацией в **изолированных районах** (см., например, стр. 75 диссертации), если «Объектом исследования являются фотоэлектрические установки индивидуальных потребителей малой мощности (до 15 кВт) с двусторонней связью с электрической сетью»?
5. Неясно что имеется в виду под названием «динамические имитационные модели трех ФЭС микрогенерации: без аккумулятирования, с НЭЭ и с НТЭ»? О какой динамике идет речь, если параметрами ФЭС являются интегральные показатели: «энергия, пришедшая на контроллер, энергия, ушедшая на нагрузку, избыточная энергия (направленная на ТЭНы) и энергия, не потребленная первичной электрической нагрузкой»? Это говорит о том, что рассматривается **не динамическая, а балансовая** модель энергии (средней мощности) за принятый расчетный интервал времени.
6. На стр. 88 диссертации сказано: «Профили нагрузок, использованные в настоящем исследовании, были построены при помощи ПО HOMER Pro [104] на

основе данных [120] об энергопотреблении 16 эталонных типов зданий для каждой из **16 представленных в США климатических зон**.... Эти профили нагрузок для дальнейшего моделирования были приведены к климатическим условиям выбранных географических местоположений и масштабированы на годовое энергопотребление 5,5 МВт·ч,». Однако **в работе не показано каким способом графики потребления пересчитаны на параметры российских регионов**. В связи с этим не вполне понятно столь малое различие (рис. 3.8 на стр. 89 в пределах 5%) графиков электрической нагрузки в городах Якутск и Волгоград.

7. Рис. 3.11 диссертации достаточно труден для понимания: на нем показаны энергия, забираемая из сети; энергия, передаваемая в сеть; энергия, производимая СФЭУ, но не показаны энергия потребления и энергия аккумуляции. А при отсутствии формульного и числового выражения совершенно **непонятно как соблюдается баланс энергии в различные интервалы времени**, вследствие чего неясно почему потребление из сети и передача в сеть одновременно больше нуля? То есть, зачем потреблять энергию из сети, если СФЭУ обеспечивают ее избыточное производство, достаточное для передачи в сеть?
8. Можно ли понимать, что утверждение «Таким образом, подтверждается, что для решения задачи увеличения доли покрытия нагрузки ГВС за счет фотоэлектрической генерации эффективным подходом может быть **перестраивание** режима электропотребления внутри суток (перенос утреннего и вечернего пика ближе к середине дня или более однородное потребление энергии в течение светового дня)» на стр. 108 диссертации отражает ранее сделанное предположение о **регулировании потребления** электроэнергии, как способе управления балансом энергии энергоузла?
9. Неясно почему в гл.4 рассматриваются варианты работы ФЭС с микрогенерацией в зонах **ФОРЭМ** в то время, как в начале работы рассматривались условия их работы на **розничном рынке энергии и мощности**?

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением ВАК Российской Федерации

Диссертационная работа Габдерахмановой Татьяны Сергеевны «Исследование энергетической и экономической эффективности фотоэлектрических систем микрогенерации в условиях Российской Федерации» является законченной, самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема, имеющая важное значение для развития энергетики страны, а также изложены новые научно-обоснованные технические решения, использование которых позволяет повысить обоснованность выбора параметров ФЭС микрогенерации.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы. Работа имеет признаки актуальности, новизны, научной и практической значимости.

Основные положения диссертации опубликованы в 8 печатных трудах, которые напечатаны в рецензируемых научно-технических изданиях, рекомендованных ВАК России.

Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам, представляемым на соискание ученой степени кандидата наук в соответствии с п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденных Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 «О порядке присуждения ученых степеней», а Габдерахманова Татьяна Сергеевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы.

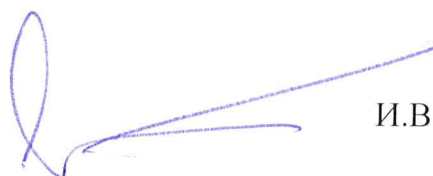
Официальный оппонент:

Доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Гидроэнергетика
и возобновляемые источники энергии»
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
университет «МЭИ»
Тел. +7 (495) 362-72-51
Адрес эл. почты: mtyagunov@mail.ru


М.Г. Тягунов
21.05.2019

Ученый секретарь

Ученого совета НИУ «МЭИ»


И.В. Кузовлев



Подпись Тягунова М.Г. заверяю:
Зам. Начальника Управления по работе с персоналом
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
университет «МЭИ»


Л.И. Полевая

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д.14

+7 495 362-75-60, universe@mpei.ac.ru