

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Махмудзоды Бехруза Нозира на тему: «Оценка эффективности крышных фотоэлектрических систем на основе геоинформационной системы в условиях Таджикистана», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3. Энергетика и электротехника (2.3.3. Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии)

Соответствие темы диссертации специальности. Тема диссертационной работы Махмудзоды Бехруза Нозира на тему: «Оценка эффективности крышных фотоэлектрических систем на основе геоинформационной системы в условиях Таджикистана», соответствует специальности 2.3 – Энергетика и электротехника (2.3.3 – Энергоустановки на основе возобновляемой энергии), в частности следующим подпунктам: 2. Теоретический анализ, экспериментальные исследования, физическое и математическое моделирование энергоустановок, электростанций и энергетических комплексов на базе возобновляемых видов энергии с целью оптимизации их параметров и режимов использования. 4. Разработка научных подходов, методов, алгоритмов и программ, информационного обеспечения для контроля и диагностики, оценки надежности оборудования, энергоустановок, электростанций и энергетических комплексов в целом.

Актуальность работы. Энергетическое развитие Республики Таджикистан в течение последних десятилетий определяется сочетанием двух взаимосвязанных факторов: доминированием гидроэнергетики в структуре выработки и высокой чувствительностью генерации к сезонным колебаниям водных ресурсов. При всей значимости гидроэнергетического потенциала, составляющего основу национального энергобаланса, его циклический характер вызывает периоды ощутимого дефицита электрической мощности, что особенно проявляется в осенне-зимний период. Такая структура энергосистемы подчёркивает необходимость формирования резервных, независимых от гидрологических условий источников электроэнергии, способных повысить устойчивость энергоснабжения и снизить зависимость потребителей от сезонных режимов работы ГЭС.

В то же время природно-климатические условия Таджикистана благоприятствуют развитию солнечной энергетики. На значительной части территории страны суммарная солнечная радиация достигает величин, которые сопоставимы с регионами устойчивого развития фотоэлектрических систем. Наличие такого ресурса позволяет рассматривать использование солнечной энергии как одно из наиболее перспективных направлений снижения нагрузки на централизованную энергосистему. В особенности это касается городских условий, где рост потребления электроэнергии, уплотнение застройки и ограниченность площадей для наземных энергетических объектов требуют поиска решений, не затрагивающих землепользование. В этих условиях кровли зданий выступают как практически единственный крупный резерв, позволяющий обеспечить производство электроэнергии в непосредственной близости от её потребления, минимизируя затраты на транспортировку и повышая эффективность энергосистемы.

Однако использование крыш зданий в качестве площадок для размещения фотоэлектрических установок требует обоснованной предварительной оценки их технической и экономической целесообразности. Эта задача осложняется отсутствием в Таджикистане детализированных пространственных данных: цифровых моделей поверхности (ЦМП) зданий, результатов лазерного сканирования и трёхмерных муниципальных кадастров, служащих основой большинства зарубежных методик. В результате применение распространённых в Европе и Северной Америке подходов становится невозможным без существенной адаптации к данным условиям. На национальном уровне отсутствуют также системные исследования геометрии крыш, закономерностей их ориентации, распределения затенённости и потенциальной площадки для установки солнечных модулей, что не позволяет судить о масштабах и структуре доступного ресурса.

Параллельно с этим очевидно недостаточное количество научных работ, посвящённых оценке эффективности фотоэлектрических установок, размещаемых на крышах зданий. Имеющиеся исследования в большей степени ориентированы на крупные наземные солнечные станции или носят обзорный характер, не учитывая специфику распределённой городской генерации. Таким образом, отсутствует целостная методология, объединяющая анализ пространственных данных, моделирование солнечной инсоляции, оценку затенённости, расчёт энергетических характеристик и экономическую оценку проекта с учётом национальных тарифных и эксплуатационных условий. Невозможность опереться на готовые инструменты делает необходимым формирование собственной методики, учитывающей особенности географической среды, архитектурной застройки и энергетического сектора Таджикистана.

Разработка методики оценки пригодности крыш для размещения солнечных установок является важной не только с научной точки зрения, но и с позиции практических задач, стоящих перед государственными органами, муниципальными службами, проектными организациями и инвесторами. Запрос на объективную оценку распределённого солнечного потенциала усиливается в связи с переходом к политике повышения энергоэффективности зданий, формированием элементов «зелёной» экономики и расширением использования возобновляемых источников энергии в соответствии с долгосрочными стратегическими программами страны. Введение научно обоснованной методики позволяет систематизировать подход к оценке крышных поверхностей, определить структуру доступного ресурса, выявить наиболее перспективные зоны для размещения фотоэлектрических установок и тем самым сформировать основу для принятия управленческих решений.

Таким образом, актуальность исследования определяется необходимостью комплексного научного подхода к оценке эффективности фотоэлектрических установок, размещаемых на крышах зданий, при отсутствии детальных пространственных данных и при наличии значительных природных и урбанистических преимуществ, которые до настоящего времени не были системно исследованы. Создание такой методики обеспечивает возможность объективного анализа потенциала распределённой солнечной энергетики, способствует обоснованности инвестиционных решений и вносит вклад в формировании политики развития возобновляемых источников энергии в Республике Таджикистан.

Степень научной новизны результатов диссертации и положения выносимые на защиту

1. Разработан алгоритм автоматизированного определения полезной площади и ориентации крыш, с использованием метода минимального повернутого прямоугольника (Minimum Rotated Rectangle, MRR).

2. Предложена интегрированная методика геоинформационной оценки технического потенциала крыш для размещения солнечных энергетических установок, адаптированная к условиям отсутствия детализированных цифровых моделей поверхности зданий и к сложной горной местности Таджикистана.

3. Создана комплексная методика технико-экономического анализа эффективности крышных солнечных установок, включающая расчёт годовой выработки, себестоимости электроэнергии, срока окупаемости и построение интегральной классификации пригодности крыш на основе совокупности пространственных и экономических параметров.

На защиту выносятся следующие научные положения:

1. Методика геоинформационной оценки технического потенциала крыш зданий для размещения солнечных энергетических установок, основанная на автоматизированной обработке пространственных данных и моделировании солнечной инсоляции.

2. Модель расчёта установленной мощности и годовой выработки энергии крышными солнечными установками, учитывающая геометрию кровли, условия освещённости и климатические характеристики.

3. Методика комплексной технико-экономической оценки эффективности крышных солнечных установок, включающая расчёт экономических показателей и построение интегральной классификации пригодности кровель.

Положения, выносимые на защиту, сформулированы корректно, логически обоснованы и подтверждаются результатами теоретических расчётов и экспериментальных данных.

Степень изученности научной темы

Несмотря на наличие публикаций, посвящённых оценке солнечного энергетического потенциала, подавляющее большинство исследований ориентировано на наземные фотоэлектрические станции и региональное ресурсное зонирование. Работы, рассматривающие эффективность фотоэлектрических систем на уровне отдельных зданий, представлены ограниченно и, как правило, выполнены для территорий, обеспеченных высокодетализированными пространственными данными (LiDAR, 3D-кадастры, цифровые модели поверхности). В научных исследованиях, выполненных для условий Республики Таджикистан, основное внимание уделено оценке валового потенциала возобновляемых источников энергии, тогда как вопросы определения геометрических параметров кровель, учёта ориентации и затенённости, моделирования генерации и комплексной технико-экономической оценки крышных фотоэлектрических систем при отсутствии детализированных геоданных практически не рассматривались. Следовательно, отсутствует адаптированная методика оценки эффективности распределённой солнечной генерации, учитывающая особенности горного рельефа, структуры застройки и информационные ограничения исходных данных. В этом контексте представленное диссертационное исследование восполняет

существующий научный пробел и формирует методическую основу для обоснованного планирования внедрения крышных фотоэлектрических систем.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, трёх глав, выводов и списка литературы. Основная часть диссертации изложена на 142 страницах машинописного текста, содержащего 18 рисунков и 15 таблиц.

Целью исследования Оценка эффективности крышных фотоэлектрических систем в условиях Таджикистана на основе геоинформационного анализа и моделирования солнечной инсоляции.

Диссертационная работа Б.Н. Махмудзоды состоит из введения, трех глав, выводов, списка литературы.

Во введении диссертационной работы обоснованы актуальность и востребованность темы, сформулированы цели и задачи исследования, определены объект, предмет и методы исследования, а также показано соответствие работы приоритетным направлениям развития возобновляемой энергетики. Приведен обзор международных научных исследований по теме диссертации, рассмотрена степень изученности проблемы, изложена научная новизна работы, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты практическая значимость результатов, приведены сведения о публикациях автора и структуре диссертации.

В первой главе представлены результаты анализа современного состояния энергетической системы Республики Таджикистан, оценки солнечного потенциала территории страны, а также рассмотрены предпосылки развития распределённой солнечной генерации. Проанализированы современные мировые тенденции и методические подходы к оценке потенциала крышных фотоэлектрических систем на основе геоинформационных технологий. Обоснована актуальность и востребованность исследования, а также сформулированы основные научно-технические задачи, рассматриваемые в рамках данной диссертационной работы.

Вторая глава диссертационной работы посвящена разработке методики комплексной геоинформационной и технико-экономической оценки эффективности крышных фотоэлектрических систем. Разработаны алгоритмы извлечения геометрических параметров крыш зданий, включая определение полезной площади, ориентации и степени затенённости, на основе открытых пространственных данных. Построены модели расчёта установленной мощности и годовой выработки электроэнергии крышными солнечными установками с учётом климатических и инсоляционных характеристик территории. Выполнены численные расчёты технического потенциала и энергетической эффективности систем. Разработан программно-алгоритмический инструмент геоинформационной реализации методики и проведены расчётно-аналитические исследования по массиву зданий. Выполнен сопоставительный анализ полученных энергетических и экономических показателей.

В третьей главы диссертационной работы представлены результаты практического применения разработанной геоинформационной методики оценки эффективности крышных фотоэлектрических систем в условиях Республики Таджикистан. Рассмотрены вопросы пространственного распределения технического потенциала солнечной генерации на уровне административных районов и отдельных типов зданий. Выполнены расчёты установленной мощности, годовой выработки электроэнергии, коэффициента использования установленной мощности, а также

технико-экономических показателей эффективности систем. Проведена оценка экономической целесообразности внедрения крышных солнечных установок с учётом капитальных и эксплуатационных затрат, тарифных условий и показателей инвестиционной привлекательности. Выполнен сопоставительный анализ полученных результатов по регионам и типам зданий.

Результаты расчётных исследований показали высокий совокупный технический потенциал крышных фотоэлектрических систем, значительные объёмы возможной годовой генерации электроэнергии и сопоставимость технико-экономических показателей с международной практикой. Полученные результаты подтверждают техническую реализуемость и перспективность широкомасштабного внедрения крышных фотоэлектрических систем, а также эффективность разработанной методики для задач энергетического планирования и развития распределённой солнечной генерации.

Сформулированные в диссертации заключения логически вытекают из поставленных задач и полно отражают сущность и основные результаты проведённого исследования.

Научная, практическая, экономическая и социальная значимость диссертации

Научная значимость исследований заключается в том, что результаты систематических исследований, приведённые в данной работе, вносят определённый вклад в развитие методов геоинформационной оценки энергетического потенциала и технико-экономической эффективности крышных фотоэлектрических систем, а также в совершенствование научных подходов к моделированию распределённой солнечной генерации.

Практическая значимость результатов состоит в разработке методики и программно-алгоритмического инструмента, позволяющих выполнять комплексную оценку установленной мощности, годовой выработки электроэнергии и экономической эффективности крышных солнечных установок, формировать цифровой «солнечный кадастр» зданий и обосновывать внедрение систем распределённой солнечной генерации с учётом региональных энергетических условий.

Научная значимость исследований заключается в том, что результаты систематических исследований, приведённые в данной работе, вносят определённый вклад в развитие методов геоинформационной оценки энергетического потенциала и технико-экономической эффективности крышных фотоэлектрических систем, а также в совершенствование научных подходов к моделированию распределённой солнечной генерации.

Практическая значимость результатов состоит в разработке методики и программно-алгоритмического инструмента, позволяющих выполнять комплексную оценку установленной мощности, годовой выработки электроэнергии и экономической эффективности крышных солнечных установок, формировать цифровой «солнечный кадастр» зданий и обосновывать внедрение систем распределённой солнечной генерации с учётом региональных энергетических условий.

Публикации результатов исследования по теме диссертации

Основное содержание материала диссертации в полном объеме отражено в 8 опубликованных научных работах, из них: 1 статья в журнале, индексируемом в международной базе данных Scopus; 3 статьи в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан; 4 публикации в материалах международных научных конференций.

Соответствие диссертации требованиям ВАК

Текст диссертации и автореферат диссертации соответствует требованиям Порядка присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года, №267.

Замечания и пожелания.

Автором диссертации выполнен достаточно большой объем работы. В качестве замечаний и предложений следует отметить следующие:

1. Представлена разработанная алгоритм автоматизированного определения полезной площади и ориентации крыш, с использованием метода MRR (Minimum Rotated Rectangle, MRR). Было бы целесообразным представить основных преимуществ данного метода и предлагаемого алгоритма и сопоставительные характеристики с другими существующими методами;

2. Так как построены модели расчёта установленной мощности и годовой выработки электроэнергии солнечными установками с учётом климатических характеристик местности и выполнены соответствующие численные расчёты по определению энергетической эффективности рассматриваемых систем, было бы целесообразным представить результатов конкретных примеров;

3. Создана комплексная методика технико-экономического анализа эффективности крышных солнечных установок, включающая расчёт годовой выработки, себестоимости электроэнергии, срока окупаемости систем. Так как в международной практике известны определения как LCOE (levelized Cost of Energy), Capex (капитальные расходы), Opex (операционные расходы) и т.д. с помощью которых определяются соответствующие характеристики любых предлагаемых систем. Также такие характеристик важны при привлечении иностранных инвестиций. Какие возможности интегрирования результатов данного исследования в международную систему.

Несмотря на указанные моменты, диссертация и автореферат подготовлена на достаточно высоком научном уровне и в целом отвечает к требованиям ВАК РТ, предъявляемым к диссертациям.

Заключение. Диссертационная работа Махмудзоды Бехруза Нозира на тему: «Оценка эффективности крышных фотоэлектрических систем на основе геоинформационной системы в условиях Таджикистана», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3. Энергетика и электротехника (2.3.3. Энергоустановки на основе возобновляемых

видов энергии) выполнена на высоком научно-методическом уровне, соответствует требованиям п. 31, 33, 34 и 35 Порядка присуждения ученых степеней,

утвержденного постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года, № 267, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент:

Заведующей лабораторией солнечных тепловых и энергетических установок Физико-технического института имени С.А. Азимова АН РУз, д.т.н., проф.

23.02.2026 г.

Ж.С. Ахатов

Адрес: индекс, Республика Узбекистан
Город: Ташкент
Физико-технический
института имени С.А. Азимова АН Республики Узбекистан

улица Ч. Айтматова, зд. 3Б.

Тел.: (+998)90 917 93 21

E-mail: ftikans@uzsci.net

Подпись Ж.С. Ахатов подтверждаю
начальник отдела кадров



23.02.2026