



Fotovoltaik tizimlarning O‘zbekistonda xavfsiz o‘rnatalishi va ekspluatatsiya qilinishi bo‘yicha xalqaro va milliy standartlar

Odiljon A. Raxmatov

PhD doktorant, Farg‘ona politexnika instituti, Farg‘ona, 150107, O‘zbekiston; o.raxmatov@ferpi.uz
<https://orcid.org/0009-0006-8018-1543>

Dolzarblik: ishning ahamiyati shundaki, O‘zbekistonda qayta tiklanuvchi energiya manbalarini (QTEM) jadal rivojlantirish va mamlakatning energetika balansidan quyosh elektr stansiyanining ulushini oshirish fonida quyosh fotoelektrik tizimlari (FET) texnologiyalarini standartlashtirish masalasi strategik ahamiyat kasb etadi. O‘zbekiston QTEM quvvatlarini jadal oshirib bormoqda va 2025-yilga kelib ularning umumiy energetika balansidan ulushini 40% ga yetkazishni prognoz qilmoqda. Quyosh texnologiyalarini jadal joriy etish sharoitida FET xavfsizligi, mustahkamligi va samaradorligini ta’minalash muhim o‘rin tutadi. IEC 61215, IEC 61730, IEC 62446 va EN 50583 kabi xalqaro standartlar quyosh tizimlarini loyihalash, sinovdan o’tkazish va ekspluatatsiya qilish bo‘yicha asosiy talablarni belgilaydi. Ular milliy sharoitlarga moslashtirilishi tarmoqning uyg‘un rivojlanishini ta’minalash uchun zarur qadmdir. Bundan tashqari, xalqaro standartlarni milliy xususiyatlarni hisobga olgan holda moslashtirish O‘zbekistonning barqaror rivojlanish maqsadlariga erishish, uglerod chiqindilarini kamaytirish va energetika samaradorligini oshirishga qaratilgan energetika strategiyasini qo‘llab-quvvatlaydi. Shuningdek, maqola quyosh texnologiyalarini xavfsiz va samarali joriy etishni ta’minlovchi normativ bazani yaratish, energetik xavfsizlikni mustahkamlash va xalqaro investitsiyalarni jalb qilish uchun dolzarb ahamiyatga ega.

Maqsad: ishning maqsadi quyosh fotoelektrik tizimlari (FET) uchun xalqaro standartlarni O‘zbekiston sharoitlariga, milliy xususiyatlar va talablarni hisobga olgan holda tahlil qilish va moslashtirishdan iborat. Bu FET xavfsizligi, mustahkamligi va samaradorligini ta’minalash, milliy normativ bazani xalqaro talablar bilan uyg‘unlashtirish hamda mamlakatda qayta tiklanuvchi energiyani barqaror rivojlantirish sharoitlarini yaratishga qaratilgan.

Usullar: tadqiqot usullari xalqaro standartlarni tahlil qilish, ularni O‘zbekiston milliy normativlari bilan taqqoslash, moslashtirish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqish, amaliyotda approbatsiya qilish va mamlakatning iqlim hamda texnik xususiyatlarini hisobga olishni o‘z ichiga oladi. Bunday yondashuv quyosh fotoelektrik tizimlari uchun standartlarning mukammal tadqiqoti va moslashtirilishini ta’minaladi.

Natijalar: tadqiqot xalqaro standartlar va O‘zbekiston milliy normativlari o‘rtasidagi farqlarni aniqlash, ularni mamlakatning iqlim va texnik xususiyatlarini hisobga olgan holda moslashtirish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqishni o‘z ichiga oladi. Standartlarning moslashtirilishi fotoelektrik tizimlar xavfsizligi va ishonchliligini oshiradi, ularning sinov va inspeksiyasini takomillashtiradi, shuningdek, milliy energetika strategiyasini qo‘llab-quvvatlashga qaratilgan bo‘lib, qayta tiklanuvchi energiya manbalari ulushini oshirish va O‘zbekistonda quyosh energetikasini rivojlantirishga yordam beradi.

Kalit so‘zlar: xalqaro standartlar, fotoelektrik tizimlar, standartlarni moslashtirish, xavfsizlik, samaradorlik, quyosh elektr stansiylari, qayta tiklanuvchi energiya, quyosh energetikasi, arxitektura integratsiyasi, texnik talablar, iqlim xususiyatlari, milliy normativlar, sinov, inspeksiya, barqaror rivojlanish, energetika strategiyasi.

Международные и национальные стандарты в области безопасной установки и эксплуатации ФЭС в Узбекистане

Одилжон А. Рахматов

PhD Докторант, Ферганский политехнический институт, Фергана, 150107, Узбекистан; o.raxmatov@ferpi.uz
<https://orcid.org/0009-0006-8018-1543>

Актуальность: заключается в том, что на фоне активного развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в Узбекистане и увеличения доли солнечных электростанций в энергобалансе страны, вопрос стандартизации технологий солнечных фотоэлектрических систем (ФЭС) приобретает стратегическое значение. Узбекистан стремительно наращивает мощности ВИЭ, прогнозируя увеличение их доли в общем энергобалансе до 40% к 2025 году. В условиях ускоренного внедрения солнечных технологий ключевую роль играет обеспечение безопасности, долговечности и эффективности ФЭС. Международные стандарты, такие как IEC 61215, IEC 61730, IEC 62446 и EN 50583, задают базовые требования к проектированию, тестированию и эксплуатации солнечных систем. Их адаптация к национальным условиям становится необходимым шагом для гармоничного роста отрасли. Кроме того, адаптация международных стандартов с учётом национальных особенностей поддерживает энергетическую стратегию Узбекистана, направленную на достижение целей устойчивого развития, снижение углеродных выбросов и повышение энергоэффективности. Таким образом, статья актуальна для создания нормативной базы, которая способствует безопасному и эффективному внедрению солнечных технологий, укрепляет энергетическую безопасность и привлекает международные инвестиции.

Цель: целью является анализ и адаптация международных стандартов для солнечных фотоэлектрических



систем (ФЭС) к условиям Узбекистана, с учётом национальных особенностей и требований. Это направлено на обеспечение безопасности, долговечности и эффективности ФЭС, гармонизацию национальной нормативной базы с международными требованиями, а также создание условий для устойчивого развития возобновляемой энергетики в стране.

Методы: методы исследования включают анализ международных стандартов, их сравнительное сопоставление с национальными нормативами Узбекистана, разработку рекомендаций по адаптации, практическую апробацию и учет климатических и технических особенностей страны. Такой подход обеспечивает комплексное исследование и адаптацию стандартов для солнечных фотоэлектрических систем.

Результаты: выявлены различия между международными стандартами и национальными нормативами Узбекистана, разработаны рекомендации по их адаптации, с учетом климатических и технических особенностей страны. Адаптация стандартов повысит безопасность и надежность фотоэлектрических систем, улучшит их тестирование и инспекцию, а также направлена на поддержку национальной энергетической стратегии, способствуя увеличению доли возобновляемых источников энергии и развитию солнечной энергетики в Узбекистане.

Ключевые слова: международные стандарты, фотоэлектрические системы, адаптация стандартов, безопасность, эффективность, солнечные электростанции, возобновляемая энергия, солнечная энергетика, архитектурная интеграция, технические требования, климатические особенности, национальные нормативы, тестирование, инспекция, устойчивое развитие, энергетическая стратегия.

International and national standards for the safe installation and operation of photovoltaic systems in Uzbekistan

Odiljon A. Raxmatov

PhD student, Fergana polytechnic institute, Fergana, 150107, Uzbekistan; [\[o.raxmatov@ferpi.uz\]\(mailto:o.raxmatov@ferpi.uz\)](mailto:o.raxmatov@ferpi.uz)
[<https://orcid.org/0009-0006-8018-1543>](https://orcid.org/0009-0006-8018-1543)

Relevance: the relevance of this work lies in the fact that, against the backdrop of the active development of renewable energy sources (RES) in Uzbekistan and the increasing share of solar power plants in the country's energy balance, the issue of standardizing solar photovoltaic systems (PVS) technologies has become strategically significant. Uzbekistan is rapidly expanding its RES capacity, forecasting an increase in their share in the total energy balance to 40% by 2025. In the context of accelerated implementation of solar technologies, ensuring the safety, durability, and efficiency of PVS plays a crucial role. International standards such as IEC 61215, IEC 61730, IEC 62446, and EN 50583 establish basic requirements for the design, testing, and operation of solar systems. Adapting these standards to national conditions has become a necessary step for the harmonious growth of the industry. Furthermore, adapting international standards to take into account national specifics supports Uzbekistan's energy strategy aimed at achieving sustainable development goals, reducing carbon emissions, and improving energy efficiency. Thus, this article is relevant for creating a regulatory framework that promotes the safe and efficient implementation of solar technologies, strengthens energy security, and attracts international investment.

Aim: the aim of this work is to analyze and adapt international standards for solar photovoltaic systems (PVS) to the conditions of Uzbekistan, taking into account national specifics and requirements. This is aimed at ensuring the safety, durability, and efficiency of PVS, harmonizing the national regulatory framework with international requirements, and creating conditions for the sustainable development of renewable energy in the country.

Methods: the research methods include the analysis of international standards, their comparative evaluation with Uzbekistan's national regulations, the development of adaptation recommendations, practical testing, and consideration of the country's climatic and technical features. This approach ensured a comprehensive study and adaptation of standards for solar photovoltaic systems.

Results: the research outcomes include identifying differences between international standards and Uzbekistan's national regulations, developing recommendations for their adaptation, considering the country's climatic and technical features. Adapting the standards will enhance the safety and reliability of photovoltaic systems, improve their testing and inspection processes, and support the national energy strategy, contributing to the increase of renewable energy sources' share and the development of solar energy in Uzbekistan.

Keywords: international standards, photovoltaic systems, standard adaptation, safety, efficiency, solar power plants, renewable energy, solar energy, architectural integration, technical requirements, climatic features, national regulations, testing, inspection, sustainable development, energy strategy.

1. Введение (Introduction)

Энергетическая политика Узбекистана направлена на активное развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ), включая солнечную, ветровую и гидроэнергетику. Узбекистан обладает значительным потенциалом в области возобновляемых источников энергии (ВИЭ), что подтверждается оценками Международного энергетического агентства и Европейской экономической комиссии ООН. Совокупный потенциал ВИЭ для производства электроэнергии составляет 2 091 млрд кВт·ч, что в 30 раз превышает годовое потребление страны. В последние годы развитие этой отрасли стало одним из приоритетов государственной политики. Солнечная энергетика



является наиболее перспективным направлением, учитывая 320 солнечных дней в году и общий потенциал в 2 058 млрд кВт·ч. Максимальная эффективность солнечных панелей достигается в Сурхандарьинской, Бухарской и Кашкадарьинской областях, где среднегодовая выработка составляет 1 680–1700 кВт·ч на панель; в областях Ферганской долины потенциал солнечной радиации несколько ниже. Для освоения потенциала солнечной энергетики реализуются 8 проектов государственно-частного партнёрства общей мощностью 1,6 ГВт и годовой выработкой 4,3 млрд кВт·ч. В августе 2021 года введена в эксплуатацию первая солнечная электростанция мощностью 100 МВт в Навоийской области, а в 2022 году аналогичная станция заработала в Самаркандской области.

Высокий потенциал ветровой энергии сосредоточен в Северо-западной и Юго-западной частях Узбекистана. Технический потенциал ветровой энергетики оценивается в 9,9 млрд кВт·ч, а наиболее перспективные регионы включают Каракалпакстан, Навоийскую и Бухарскую области. В настоящее время ведётся реализация 7 проектов общей мощностью 3,1 ГВт и годовой выработкой 11,3 млрд кВт·ч. За последние 5 лет заключено 21 соглашение с международными компаниями на строительство солнечных и ветровых электростанций общей мощностью 7 047 МВт. Среди ключевых инвесторов — компании из Саудовской Аравии, ОАЭ, Франции, Китая и Швейцарии. Общая стоимость проектов превышает 9 миллиардов долларов, финансируемых за счёт прямых иностранных инвестиций. До 2026 года планируется запуск солнечных и ветряных электростанций совокупной мощностью более 8 000 МВт, что позволит достичь 25% доли ВИЭ в энергобалансе страны [1]. Ожидается, что доля ВИЭ в общем энергобалансе страны увеличится до 40%, а потребление природного газа сократится на 10 млрд кубометров благодаря замещению его возобновляемыми источниками энергии. Таким образом, Узбекистан демонстрирует значительный прогресс в области развития ВИЭ, что способствует укреплению энергетической безопасности страны и снижению углеродных выбросов [2].

В перспективе, до 2030 года, Узбекистан планирует увеличить мощность "зелёных" электростанций до 27 ГВт, что позволит ежегодно экономить 25 миллиардов кубометров природного газа и сократить выбросы вредных веществ в атмосферу на 34 миллиона тонн [3].

2. Методы и материалы (Methods and materials)

На фоне ускоренного развития солнечной энергетики во всем мире стандартизация технологий солнечных фотоэлектрических систем (ФЭС) становится критически важной. Для Узбекистана, стремящегося быть в лидерах сферы зелёной энергетики и достичь целей устойчивого развития (ЦУР), создание национально адаптированных стандартов является ключевым шагом. В данной статье рассматриваются ключевые международные стандарты, их адаптация к местным условиям и возможности применения в условиях Узбекистана. Работа основана на анализе таких стандартов, как IEC 61215, IEC 61730, IEC 62446 и EN 50583[4-7], которые задают базовые требования к конструкции, безопасности и функциональным характеристикам ФЭС.

В Республике Узбекистан разработаны и внедрены государственные стандарты для солнечных фотоэлектрических систем, основанные на международных стандартах с учетом национальных особенностей. Специалисты ООО «Международный институт солнечной энергии» адаптировали международные стандарты, дополнив изменения, отражающие специфику Узбекистана в строительстве солнечных фотоэлектрических станций, подключаемых к электрическим сетям, а также учитывающие национальные требования и положения по разработке нормативной документации по стандартизации.

Национальным документом по безопасной установки и эксплуатации ФЭС в Узбекистане является ШНК 2.04.15-23 «Фотоэлектрические станции (системы)», которая, в свою очередь, основывается на принятых в Узбекистане или существующих общепринятых международных стандартах и является ее неотъемлемой частью [8].

Как известно в Узбекистане применяются следующие категории стандартов:

- Международные (межгосударственные, региональные) стандарты.
- Государственные стандарты Республики Узбекистан.
- Стандарты организаций.

Это позволяет интегрировать международные стандарты в национальную систему стандартизации, адаптируя их к местным условиям и требованиям.

Рассмотрим основные международные стандарты в области регулирования строительства солнечных фотоэлектрических станций, подключаемых к электрическим сетям:

1. IEC 61215: Стандарт Международной электротехнической комиссии (IEC), устанавливающий требования к конструкции и испытаниям фотоэлектрических модулей для обеспечения их надежности и долговечности. Данный стандарт устанавливают процедуры испытаний для подтверждения способности фотоэлектрических модулей выдерживать длительную эксплуатацию в различных климатических условиях.



2. IEC 61730: Стандарт определяет требования безопасности для фотоэлектрических модулей, включая электрическую безопасность и защиту от возгорания. Данный стандарт определяет требования к конструкции модулей для обеспечения электрической и пожарной безопасности, минимизируя риски для пользователей и инфраструктуры.

3. IEC 62446: Стандарт предоставляет рекомендации по тестированию и инспекции ФЭС после установки, обеспечивая соответствие системы проектным требованиям и стандартам безопасности. Документы, такие как IEC 62446, предоставляют руководства по правильной установке и тестированию ФЭС, гарантируя, что системы работают эффективно и безопасно после ввода в эксплуатацию.

4. ISO 9050: Международная организация по стандартизации (ISO) устанавливает стандарты для стеклянных и стеклоподобных материалов, используемых при строительстве и в конструкциях ФЭС с точки зрения светопроницаемости и тепловых характеристик.

5. EN 50583: Европейский стандарт, охватывающий требования к фотоэлектрическим модулям, интегрированным в здания, включая как механические, так и электрические характеристики. EN 50583, охватывают специфические требования для интеграции фотоэлектрических модулей в строительные конструкции, обеспечивая гармоничное сочетание с архитектурой и соблюдение строительных норм.

3. Результаты и обсуждения (Results and discussion)

Внедрение и адаптация международных стандартов в Узбекистане способствуют развитию надежных и безопасных фотоэлектрических систем, соответствующих как глобальным, так и национальным требованиям. Использование международных стандартов и регулирующих документов, связанных с установкой фотоэлектрических систем (ФЭС) на крыши и стенах зданий для адаптации и замены отсутствующих национальных стандартов, подкрепляет условия развития ФЭС в республике.

Рассмотрим более подробно наиболее важные стандарты IEC 62446 и EN 50583, предназначенные для безопасной установки и ввода в действие интегрированных в здания ФЭС.

IEC 62446: Фотоэлектрические (ФЭ) системы - Тестирование и инспекция - стандарт регулирует тестирование и инспекцию фотоэлектрических систем после их установки. Его главная цель — обеспечить соответствие показателей системы к проектным требованиям и безопасной эксплуатации.

Основные требования состоят из следующих этапов:

1. Документальная проверка:

- наличие проектной документации, включая электрические схемы, спецификации компонентов и данные о размещении оборудования;
- соответствие заявленных характеристик оборудования техническим требованиям.

2. Визуальная инспекция:

- проверка состояния модулей на наличие повреждений, дефектов или коррозии;
- осмотр кабельных соединений, заземления и монтажных конструкций на соответствие требованиям безопасности;

- проверка целостности инверторов, распределительных коробок и других компонентов.

3. Электрические испытания:

- проверка полярности: подтверждение правильного подключения кабелей;
- испытание изоляции: проверка уровня изоляции кабелей и компонентов для предотвращения электрических утечек;
- тестирование характеристик системы: измерение напряжения холостого хода (V_{oc}), тока короткого замыкания (I_{sc}) и других параметров для подтверждения правильной работы системы.

4. Функциональные испытания:

- подтверждение корректной работы системы, включая отключение при перегрузках или неисправностях.

Границные условия:

- применяется ко всем ФЭ системам, независимо от их размера;
- требования особенно актуальны для систем, подключенных к сети, поскольку они должны соответствовать дополнительным нормам электрической безопасности.

Далее рассмотрим основные индикаторы, так далее границные условия по части касающейся:

1. Электрические испытания:

- напряжение холостого хода (V_{oc}): проверяется для каждой группы модулей, должно находиться в пределах $\pm 5\%$ от номинального значения;
- ток короткого замыкания (I_{sc}): измеряется на уровне модуля или системы, максимальное допустимое отклонение — $\pm 5\%$;
- изоляция кабелей: минимальное сопротивление изоляции должно составлять не менее 1 МОм при 500 В постоянного тока.



2. Проверка полярности:

- неправильное подключение (обратная полярность) должно быть исключено. Отклонение полярности в проводниках — 0 В (должно отсутствовать).

3. Пороговые уровни для защиты:

- отключение системы: инверторы должны автоматически отключаться при перенапряжении выше 110% от номинального или токах, превышающих 120% от номинального.

4. Испытания безопасности:

- проверяется утечка тока: утечка не должна превышать 30 мА.

Следующий стандарт EN 50583: Фотоэлектрические модули, интегрированные в здания (BIPV), охватывает особенности фотоэлектрических модулей, которые являются не только источником энергии, но и элементом конструкции зданий.

Перечислим основные требования стандарта:

1. Электрические характеристики:

- фотоэлектрические модули должны соответствовать стандартам IEC (например, IEC 61215 для долговечности и IEC 61730 для безопасности);

- электрические подключения должны быть безопасными и интегрированными таким образом, чтобы избежать рисков возгорания или поражения электрическим током.

2. Механические характеристики:

- модули должны выдерживать нагрузки, такие как снег, ветер или сейсмическое воздействие, в соответствии с местными строительными нормами;

- устойчивость к ударам (например, граду) и долговечность материалов.

3. Тепловые свойства:

- учет теплоизоляционных характеристик модулей для обеспечения энергоэффективности зданий;

- поддержание теплового баланса внутри здания.

4. Эстетика и архитектура:

- модули должны быть визуально интегрированы в здание, обеспечивая гармоничный внешний вид;

- использование прозрачных или полупрозрачных модулей для окон или фасадов.

5. Защита от внешних воздействий:

- устойчивость к ультрафиолетовому излучению, коррозии и температурным изменениям;

- герметичность для предотвращения проникновения влаги или воздуха.

6. Эксплуатационные характеристики:

- модули должны быть легкими в обслуживании и устойчивыми к загрязнениям;

- возможность их интеграции в системы управления зданием (например, автоматизация для повышения энергоэффективности).

Границные условия:

- стандарт применяется исключительно к BIPV-системам, которые выполняют как энергетическую, так и строительную функцию;

- соответствие EN 50583 требует учета местных строительных норм, таких как нагрузки, пожарная безопасность и теплотехнические характеристики зданий).

Далее рассмотрим граничные условия по части касающейся:

1. Механические нагрузки:

- устойчивость к ветровым нагрузкам: минимум 2400 Па;

- устойчивость к сугробным нагрузкам: минимум 5400 Па;

- устойчивость к ударным нагрузкам (град): диаметр ударного тела — 25 мм при скорости 23 м/с.

2. Термические характеристики:

- диапазон рабочих температур: от -40°C до +85°C;

- коэффициент теплового расширения материалов должен быть согласован для предотвращения разрушения соединений.

3. Электрическая безопасность:

- максимальное рабочее напряжение системы: до 1000 В постоянного тока (DC) для стандартных BIPV-модулей;

- пожарная безопасность: соответствует классу огнестойкости не ниже Class C.

4. Светопропускание (для прозрачных модулей):

- для фасадных систем: минимальная светопропускная способность — 50%, если модуль используется как окно.

5. Энергетическая эффективность:

- КПД модулей: обычно не менее 15–20% для кремниевых BIPV модулей;

- потери энергии из-за температурных изменений: не превышают 0.5% на каждый градус выше 25°C.



6. Срок службы:

- минимальный срок службы модулей — 25 лет, при этом снижение производительности не должно превышать:
 - 2% в первый год эксплуатации;
 - 0.5% ежегодно после первого года.

7. Архитектурная интеграция:

- толщина модулей: от 2 мм для стеклянных BIPV систем;
- вес: не более 20 кг/м², чтобы не увеличивать нагрузку на конструкцию здания.

Результаты проведённого анализа международных стандартов, таких как IEC 61215, IEC 61730, IEC 62446 и EN 50583, демонстрируют их ключевую роль в обеспечении качества, безопасности и долговечности солнечных фотоэлектрических систем (ФЭС). Однако адаптация этих стандартов к условиям Узбекистана требует учёта нескольких критических факторов, связанных с уникальными климатическими, техническими и архитектурными характеристиками региона.

Климатические аспекты. Узбекистан характеризуется экстремальными погодными условиями, включая значительные амплитуды температур, высокую интенсивность солнечного излучения и частые ветровые нагрузки. Эти факторы делают особенно актуальными требования к механической и термической устойчивости ФЭС. В частности, стандарт IEC 61215, который регламентирует испытания на долговечность, требует дополнений, включающих учёт высоких дневных температур и ночного охлаждения, характерного для пустынных и полупустынных регионов.

Архитектурные и строительные особенности. Анализ стандартов EN 50583, касающихся интеграции фотоэлектрических модулей в здания, подчёркивает необходимость адаптации технических решений к многообразию строительных конструкций в Узбекистане. Например, плоские крыши, распространённые в городской застройке, требуют особых решений для предотвращения скопления воды и обеспечения вентиляции, что недостаточно полно учтено в существующих международных нормах.

Технические требования и инспекция. Стандарт IEC 62446, который задаёт строгие требования к инспекции, тестированию и документированию, является важным инструментом для повышения качества эксплуатации ФЭС. Однако существующая практика показывает, что внедрение таких стандартов требует создания специализированной инфраструктуры для регулярного мониторинга и тестирования систем. Это особенно актуально для городов, таких как Фергана, где плотная застройка может ограничивать доступ к системам для их регулярной проверки.

Экономические и экологические аспекты. С точки зрения экономической эффективности, стандарты, направленные на обеспечение долговечности и минимизацию эксплуатационных затрат, способствуют увеличению срока службы систем и снижению затрат на их обслуживание. При этом соблюдение стандартов также обеспечивает снижение углеродного следа, что отвечает целям устойчивого развития, заложенным в «Энергетической стратегии Республики Узбекистан на 2030 год».

Необходимость интеграции международных стандартов. Предложенная адаптация международных стандартов требует создания синергии между национальной нормативной базой и глобальными требованиями. Например, использование ГИС-технологий для оценки потенциала крыш зданий в сочетании с нагрузочными моделями может стать основой для разработки национальных рекомендаций, что в конечном итоге создаст научно обоснованную и практически реализуемую систему стандартов.

Таким образом, критический анализ подтверждает, что внедрение и адаптация международных стандартов под региональные особенности Узбекистана имеют ключевое значение для успешного развития солнечной энергетики. Разработка локальных стандартов, основанных на международных нормах, не только повышает безопасность и эффективность ФЭС, но и создаёт условия для привлечения инвестиций и расширения использования возобновляемых источников энергии.

4. Заключение (Conclusion)

Проведённое исследование подтвердило критическую важность адаптации международных стандартов для солнечных фотоэлектрических систем в условиях Узбекистана. Уникальные климатические и архитектурные особенности региона требуют внедрения комплексного подхода, включающего использование стандартов IEC 61215, IEC 61730, IEC 62446 и EN 50583, а также дополнения их национальными нормами, учитывающими местные особенности.

Ключевым результатом работы является обоснование необходимости интеграции ГИС-технологий и нагрузочных моделей для оптимального размещения ФЭС на крышах городских зданий. Данные технологии обеспечивают более точную оценку потенциала крыш, минимизируют риски повреждения конструкций и способствуют повышению энергоэффективности систем.



Внедрение таких стандартов и подходов позволит Узбекистану не только увеличить долю возобновляемых источников энергии в энергобалансе, но и создать устойчивую инфраструктуру для долгосрочной эксплуатации ФЭС. Это, в свою очередь, поддержит выполнение целей устойчивого развития, привлечёт инвестиции и укрепит позиции страны на международной арене в области зелёной энергетики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отабаев А. «Зеленая» энергетика в Узбекистане: перспективы солнечных и ветряных электростанций. URL: <https://www.uzbekistan.org.ua/ru/news/55-economica-news2/6631.html> (дата обращения 25.01.2025).
2. Президент Республики Узбекистан. (2023). Указ № УП-158 от 11 сентября 2023 г. «О Стратегии "Узбекистан – 2030"». URL: <https://lex.uz/ru/docs/6600404> (дата обращения 25.01.2025).
3. Концепция обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020–2030 годы. (2020). URL: <https://minenergy.uz/ru/lists/view/77> (дата обращения 25.01.2025).
4. International Electrotechnical Commission. (2022). IEC 61215:2022: Terrestrial Photovoltaic (PV) Modules – Design Qualification and Type Approval. Geneva, Switzerland: IEC. URL: <https://www.iec.ch/certification/iec-standards/iec-61215-1-22021> (Accessed: 25.01.2025).
5. International Electrotechnical Commission. (2022). IEC 61730:2022: Photovoltaic (PV) Module Safety Qualification – Part 1: Requirements for Construction and Part 2: Requirements for Testing. Geneva, Switzerland: IEC. URL: <https://www.iec.ch/certification/iec-standards/iec-61730-22016> (Accessed: 25.01.2025).
6. International Electrotechnical Commission. (2021). IEC 62446:2021: Grid-connected photovoltaic systems – Minimum requirements for system documentation, commissioning tests, and inspection. Geneva, Switzerland: IEC. URL: <https://webstore.iec.ch/en/publication/27382> (дата обращения 25.01.2025).
7. European Committee for Standardization. (2016). EN 50583:2016: Photovoltaics in buildings – Requirements for building-integrated photovoltaic modules. Brussels, Belgium: CEN. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/clc/a749f8c8-938e-48a4-9a7d-0891a4c57f8f/en-50583-1-2016> (дата обращения 25.01.2025).
8. ШНК 2.04.15-22: Об утверждении норм и правил градостроительства «Фотоэлектрические станции (системы)», 2022. URL: <https://www.lex.uz/uz/docs/6334227> (дата обращения 25.01.2025).

REFERENCES

1. Otabayev, A. “Green” Energy in Uzbekistan: Prospects for Solar and Wind Power Plants. URL: <https://www.uzbekistan.org.ua/ru/news/55-economica-news2/6631.html> (Accessed: 25.01.2025) (in Russ.).
2. President of the Republic of Uzbekistan. (2023). Decree No. UP-158 of September 11, 2023, “On the Strategy ‘Uzbekistan – 2030’”. URL: <https://lex.uz/ru/docs/6600404> (Accessed: 25.01.2025) (in Russ.).
3. Concept for Ensuring Electricity Supply in the Republic of Uzbekistan for 2020–2030. (2020). URL: <https://minenergy.uz/ru/lists/view/77> (Accessed: 25.01.2025) (in Russ.).
4. International Electrotechnical Commission. (2022). IEC 61215:2022: Terrestrial Photovoltaic (PV) Modules – Design Qualification and Type Approval. Geneva, Switzerland: IEC. URL: <https://www.iec.ch/certification/iec-standards/iec-61215-1-22021> (Accessed: 25.01.2025).
5. International Electrotechnical Commission. (2022). IEC 61730:2022: Photovoltaic (PV) Module Safety Qualification – Part 1: Requirements for Construction and Part 2: Requirements for Testing. Geneva, Switzerland: IEC. URL: <https://www.iec.ch/certification/iec-standards/iec-61730-22016> (Accessed: 25.01.2025).
6. International Electrotechnical Commission. (2021). IEC 62446:2021: Grid-Connected Photovoltaic Systems – Minimum Requirements for System Documentation, Commissioning Tests, and Inspection. Geneva, Switzerland: IEC. URL: <https://webstore.iec.ch/en/publication/27382> (Accessed: 25.01.2025).
7. European Committee for Standardization. (2016). EN 50583:2016: Photovoltaics in Buildings – Requirements for Building-Integrated Photovoltaic Modules. Brussels, Belgium: CEN. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/clc/a749f8c8-938e-48a4-9a7d-0891a4c57f8f/en-50583-1-2016> (Accessed: 25.01.2025).
8. SHNK 2.04.15-22: Approval of Urban Planning Standards and Regulations "Photovoltaic Stations (Systems)". (2022). URL: <https://www.lex.uz/uz/docs/6334227> (Accessed: 25.01.2025) (in Russ.).