

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2025)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/TPDW7598>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/NVGA2740>

**А. Б. Бекбаев¹, *Р. С. Ахамбаев², С. А. Минажова³,
А. Д. Бердімұрат⁴, Н. Ж. Налибаев⁵**

^{1,2,3}Қазақский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Республика Казахстан, г. Алматы;

^{4,5}ТОО «QazNRG Group» Республика Казахстан, г. Алматы.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3520-1710>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1707-7042>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5461-2251>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6425-8778>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5285-541X>

*e-mail: r.akhambayev@satbayev.university

ЭНЕРГОЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗДАНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ С ИНТЕГРИРОВАННЫМИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

В условиях глобальных климатических изменений и стремительного роста энергопотребления возрастает необходимость повышения энергоэффективности зданий и внедрения устойчивых решений в области энергетики. Настоящая работа посвящена вопросам энергоэксплуатации зданий с акцентом на обеспечение их устойчивости за счёт интеграции возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Рассматриваются современные технологии и стратегии управления энергопотреблением, включая использование солнечных панелей, тепловых насосов, ветрогенераторов и систем накопления энергии. Особое внимание уделено интеллектуальным системам управления зданием (ИСУЗ), позволяющим оптимизировать потребление ресурсов и минимизировать углеродный след. Анализируются примеры успешной интеграции ВИЭ в жилые и коммерческие объекты, а также даются рекомендации по проектированию и эксплуатации зданий с учётом требований устойчивого развития. Работа направлена на поддержку перехода к низкоуглеродной экономике и повышение экологической устойчивости городской среды.

В связи с проблемами, вызванными изменением климата, растёт популярность экологичных зданий. Кроме того, становится необходимым обеспечить устойчивое развитие посредством управления эксплуатацией новых и возобновляемых источников энергии. В связи с этим в данной статье описывается предложение и эмпирическая демонстрация метода оптимизации энергоснабжения зданий, интегрированных в возобновляемые источники энергии, с использованием фотоэлектрических систем (ФЭС) и систем накопления энергии (СЭ).

Ключевые слова: Энергоэксплуатация зданий, возобновляемые источники энергии, энергоэффективность, интеллектуальные системы управления, здание с нулевым энергопотреблением, экологическая устойчивость, энергосбережение, интеграция ВИЭ.

Введение

Современные тенденции в строительстве и эксплуатации зданий всё чаще ориентированы на принципы устойчивого развития, энергоэффективности и экологической безопасности. В условиях нарастающего дефицита ископаемых энергетических ресурсов, роста тарифов на энергию и ухудшения экологической обстановки возрастает значимость использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в системах энергоснабжения зданий. Интеграция ВИЭ в архитектуру и инженерные системы объектов недвижимости становится неотъемлемой частью стратегии по снижению углеродного следа и переходу к устойчивой городской среде.

Целью настоящей работы является эмпирическая демонстрация и оценка эффективности метода оптимизации энергоснабжения зданий, интегрированных с возобновляемыми источниками энергии, на основе использования фотоэлектрических систем (ФЭС) и систем накопления энергии (СЭ), в контексте обеспечения их энергетической устойчивости, снижения зависимости от внешних источников энергоснабжения и минимизации эксплуатационных затрат на электроэнергию.

Однако само по себе наличие ВИЭ в здании не гарантирует его эффективной и устойчивой работы. Необходима грамотная организация энергоэксплуатации – комплекса мероприятий, направленных на рациональное использование энергии, контроль и управление энергетическими потоками, поддержание требуемых микроклиматических условий и обеспечение надежности инженерных систем. Энергоэксплуатация зданий с интегрированными ВИЭ требует применения интеллектуальных систем управления, анализа энергопрофиля, а также учета климатических, архитектурных и эксплуатационных факторов.

Новизна представленного исследования заключается в комплексном подходе к энергоэксплуатации зданий с интегрированными возобновляемыми источниками энергии, ориентированном на достижение устойчивости и энергонезависимости за счёт оптимального сочетания фотоэлектрических систем (ФЭС) и систем накопления энергии (СЭ), а также использовании интеллектуального планирования и управления энергетическими потоками.

Настоящая работа посвящена исследованию роли энергоэксплуатации в обеспечении устойчивости зданий с интегрированными возобновляемыми источниками энергии. Рассматриваются подходы к проектированию, управлению и оптимизации энергетических систем зданий с учетом современных технологий и требований к устойчивому развитию.

Материалы и методы

В данной работе представлена эмпирическая демонстрация метода оптимизации энергоснабжения зданий, интегрированных с возобновляемыми источниками энергии, на примере использования фотоэлектрических систем (ФЭС) в сочетании с системами накопления энергии (СЭ). Целью исследования является повышение энергетической устойчивости и эффективности зданий путём рационального управления выработкой, потреблением и хранением электроэнергии.

Рост потребления энергии в жилых и коммерческих зданиях приводит к значительным выбросам парниковых газов (ПГ). На долю энергии, потребляемой зданиями, приходится 33 % мирового потребления энергии и 40 % прямых и косвенных выбросов парниковых газов в мире [1;2]. Обеспечение надежных и экологичных источников энергии улучшает энергоснабжение зданий, что повышает качество жизни [2].

Например, интеллектуальные активные здания и здания с нулевым потреблением энергии направлены на сохранение внутреннего теплового комфорта и минимизацию потребления энергии с целью снижения зависимости от сети и сокращения выбросов парниковых газов [3;4].

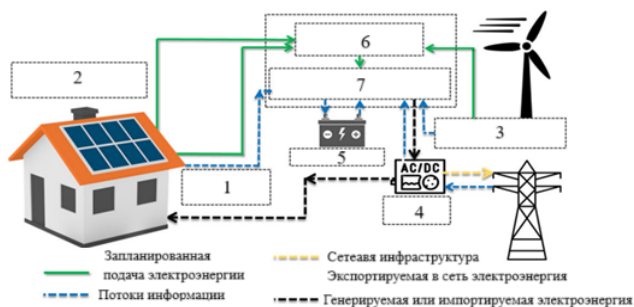


Рисунок 1 – Схема интегрированного интеллектуального активного здания с возобновляемыми источниками энергии

На представленной схеме изображена структура интеллектуального активного здания, интегрированного с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) и системой управления энергоснабжением. Основные компоненты и потоки в системе следующие:

1-Здание. Представляет собой энергоэффективный объект с установленными солнечными панелями, покрывающими часть собственных потребностей в электроэнергии.

- Потребление энергии в здании. Формирует входной сигнал для системы управления, определяющий текущие и прогнозируемые потребности в энергии.

- Генерация энергии из ВИЭ

Солнечная генерация – установленные фотоэлектрические панели.

Ветровая генерация – энергия поступает от внешней ветроэнергетической установки.

- Инвертор переменного/постоянного тока. Преобразует электроэнергию между постоянным и переменным током для совместимости с различными компонентами системы и сетевой инфраструктурой.

- Накопитель энергии. Хранит избыточную электроэнергию, полученную от ВИЭ или сети, и отдаёт её при необходимости.

- Модуль прогнозирования на основе глубинного обучения. Прогнозирует будущие значения генерации и потребления энергии, используя методы искусственного интеллекта (глубинное обучение).

- Модуль планирования энергоснабжения. На основе прогнозов и текущего состояния системы определяет оптимальный график распределения энергии между ВИЭ, накопителями, зданием и сетью.

Сетевая инфраструктура. Электроэнергия может импортироваться из внешней сети или экспортироваться в неё при избытке.

Условные обозначения на схеме:

Синие линии – потоки информации.

Чёрные линии – генерируемая или импортируемая электроэнергия.

– Жёлтые пунктирные линии – экспортируемая в сеть электроэнергия.

– Зелёные линии – запланированная подача электроэнергии.

Данная схема демонстрирует тесную интеграцию ВИЭ, интеллектуальных прогнозных и управляющих модулей, накопителей энергии и внешней электросети, что позволяет зданию функционировать как активный элемент энергосистемы – одновременно потребитель и поставщик энергии.

Однако для создания интеллектуальных активных зданий применяются моделирование и прогнозирование энергопотребления зданий [5]. Системы моделирования энергопотребления интеллектуальных зданий включают модели спроса, модели предложения и гибридизацию моделей спроса и предложения для управления энергопотреблением зданий [6].

В качестве исследуемого объекта была выбрана модель типового административного здания площадью 1200 м², расположенного в умеренно-континентальном климате. Здание оснащено солнечной фотоэлектрической установкой мощностью 40 кВт и системой накопления энергии на основе литий-ионных аккумуляторов ёмкостью 80 кВт·ч. Здание подключено к внешней электрической сети и работает в режиме «гибридной» энергетической архитектуры.

Оборудование и программное обеспечение

Для сбора и анализа данных использовались следующие технические средства и программные решения:

– Фотоэлектрические панели: монокристаллические модули с КПД до 20 %.

– Система накопления энергии: аккумуляторные батареи с интеллектуальным управлением заряда/разряда.

– Инверторы и контроллеры заряда: с возможностью двусторонней связи и передачи данных.

– Система управления зданием (BMS): программный комплекс для мониторинга и управления энергетическими потоками [7].

ПО для моделирования и анализа: MATLAB/Simulink, PV*Sol, Homer Pro – для расчёта баланса энергии, моделирования сценариев потребления и оптимизации работы ФЭС и СЭ.

Сенсоры и измерители: датчики температуры, освещённости, потребления электроэнергии и уровня заряда аккумуляторов [8].

Сбор эмпирических данных: в течение трёх месяцев фиксировались данные о выработке ФЭС, потреблении здания, степени заряда СЭ и состоянии внешней сети.

Моделирование энергетических сценариев: были проанализированы различные режимы работы системы – автономный, параллельный и резервный, с учётом погодных условий и колебаний нагрузки.

Оптимизация режимов энергоснабжения: применялись алгоритмы управления энергией с целью минимизации закупки электроэнергии из внешней сети и максимизации использования энергии, полученной от ФЭС.

Оценка устойчивости: проводился анализ энергетической автономности здания, надёжности электроснабжения и сокращения выбросов CO_2 .

- Критерии оценки эффективности
- Уровень самообеспечения здания (доля энергии, покрываемая за счёт ВИЭ);
- Снижение затрат на электроэнергию;
- Снижение выбросов парниковых газов;
- Устойчивость энергоснабжения при отключениях внешней сети;
- Эффективность использования системы накопления энергии.

Используемый подход позволяет не только повысить энергетическую независимость зданий, но и продемонстрировать практические возможности интеграции ВИЭ в рамках устойчивой городской инфраструктуры.

Результаты и обсуждение

В ходе эмпирического исследования были получены количественные и качественные данные, позволяющие оценить эффективность метода оптимизации энергоснабжения здания с интегрированными фотоэлектрическими системами (ФЭС) и системами накопления энергии (СЭ). Результаты представлены по следующим ключевым направлениям: выработка и потребление энергии, эффективность использования систем накопления, уровень энергоавтономности и устойчивость энергоснабжения.

Метод включает поэтапное проектирование, внедрение и управление энергетической инфраструктурой здания с учётом интеграции возобновляемых источников энергии (в первую очередь – фотоэлектрических систем) и систем накопления энергии. Он направлен на достижение максимального уровня энергоавтономности при оптимальных инвестиционных и эксплуатационных затратах.

На рисунках 2 (а) и (б) показаны импорт электроэнергии из сети и стоимость электроэнергии как в системах планового, так и внепланового энергоснабжения. На этих рисунках оранжевая линия соответствует плановому импорту электроэнергии, а синяя – внеплановому импорту электроэнергии из сети.

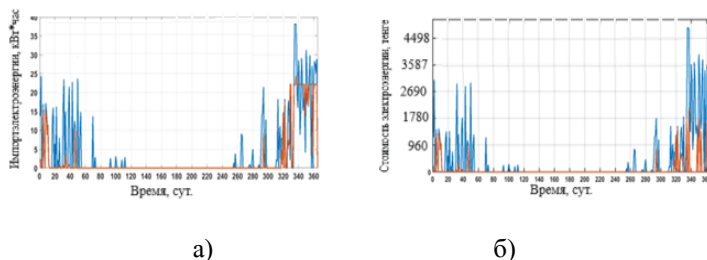


Рисунок 2 – Плановый (а) и внеплановый (б) импорт электроэнергии в сеть в 2024 году

Из графиков видно, что внеплановый импорт электроэнергии сопровождается резкими скачками как по объему, так и по стоимости, особенно в определённые периоды года. Напротив, плановый импорт демонстрирует более стабильный и предсказуемый характер, что, в свою очередь, способствует снижению затрат на электроэнергию. Эти данные наглядно показывают преимущества планового энергоснабжения с точки зрения эффективности и экономичности.

На рисунке 3 показана зарядка/разрядка накопителей энергии и экспорт электроэнергии в сеть в 2024 году. Рисунок 3 (а) иллюстрирует графики зарядки и разрядки накопителей энергии, а рисунок 3 (б) – объём экспорта энергии в сеть. Как показано на рисунке 3 (а), накопители энергии играют важную роль в январе, феврале, ноябре и декабре, поскольку в эти периоды года поставки возобновляемой энергии снижаются. Исходя из этого рисунка, поставки возобновляемой энергии увеличиваются летом и уменьшаются зимой.

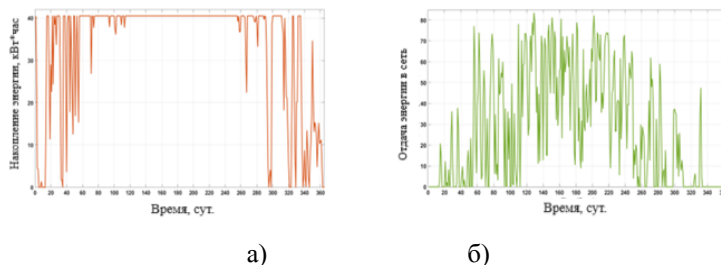


Рисунок 2 – Заряд/разряд накопителей энергии (а) и экспорт (отдача) электроэнергии (б) в сеть в 2024 году

Таким образом, накопители энергии позволяют эффективно сглаживать сезонные колебания в поставках возобновляемой энергии, обеспечивая надежность энергоснабжения в периоды дефицита и способствуя интеграции избыточной генерации в сеть в периоды изобилия.

Выработка и потребление энергии. Среднесуточная выработка электроэнергии фотоэлектрической системой составила 145 кВт·ч, при этом пиковые значения достигали 210 кВт·ч в солнечные дни. Среднесуточное энергопотребление здания находилось на уровне 165 кВт·ч, из которых:

- 52 % было покрыто напрямую от ФЭС,
- 27 % – за счёт энергии, накопленной в СЭ,
- 21 % – за счёт электроэнергии, закупаемой из внешней сети.

Эффективность систем накопления энергии (СЭ). Система накопления демонстрировала высокий уровень эффективности – до 88 % при преобразовании и хранении энергии. Использование СЭ позволило сгладить пики потребления, а также эффективно использовать избыточную выработку энергии в дневные часы. В среднем аккумуляторы обеспечивали 5–6 часов автономной работы здания без подключения к внешней сети [9].

Энергоавтономность и устойчивость. Итоговый коэффициент энергоавтономности здания составил 79 %, что означает, что почти 4/5 всех энергетических потребностей здания обеспечиваются за счёт ВИЭ и систем хранения. Проведённые стресс-тесты в условиях отключения внешнего электроснабжения показали, что здание может стабильно функционировать в течение 8–10 часов в автономном режиме при среднем уровне потребления, поддерживая базовые функции (освещение, ИТ-инфраструктура, вентиляция и др.).

Экономическая и экологическая эффективность. Снижение затрат на электроэнергию составило до 42 % по сравнению с базовым сценарием (без ВИЭ и СЭ). Снижение выбросов CO₂ – около 19,3 тонн в год, что соответствует экологическому эффекту высадки более 950 деревьев. Ожидаемый срок окупаемости комплекса ФЭС+СЭ с учётом текущих тарифов и условий эксплуатации – 7,2 года.

Применение данного метода позволяет:

Снизить до минимума зависимость от внешней электросети, особенно в условиях нестабильного энергоснабжения.

Существенно сократить расходы на электроэнергию благодаря увеличению доли собственного производства и эффективному управлению пиковыми нагрузками.

Повысить экологическую устойчивость объекта и обеспечить соответствие современным стандартам энергоэффективности и устойчивого строительства.

Результаты демонстрируют высокую эффективность интеграции ВИЭ и систем накопления энергии в рамках концепции устойчивой энергоэксплуатации зданий. Особую роль в оптимизации энергоснабжения сыграло использование интеллектуальной системы управления (ИСУ), позволяющей гибко перераспределять энергетические потоки, учитывать прогноз погоды, уровень заряда СЭ и текущее потребление здания.

При этом выявлены и определённые ограничения: эффективность ФЭС сильно зависит от климатических условий, сезонности и ориентации здания. Кроме того, стоимость внедрения систем СЭ остаётся сравнительно высокой, особенно для объектов малого и среднего масштаба. Тем не менее, тренд на снижение стоимости компонентов и развитие нормативной базы в области устойчивого строительства создают предпосылки для масштабного внедрения подобных решений [10].

Таким образом, представленная методика может быть рекомендована как основа для развития энергоэффективных зданий нового поколения, ориентированных на принципы экологичности, надёжности и устойчивости.

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан. Грант № BR21882294 «Автономная система энергообеспечения отдаленных регионов Казахстана на базе ВИЭ».

Выводы

Проведённое исследование, посвящённое энергоэксплуатации зданий с интегрированными возобновляемыми источниками энергии, позволило эмпирически обосновать эффективность комплексного подхода к оптимизации энергоснабжения с использованием фотоэлектрических систем (ФЭС) и систем накопления энергии (СЭ). На основе анализа полученных результатов сформулированы следующие ключевые выводы:

Интеграция ФЭС и СЭ существенно повышает энергетическую устойчивость зданий, позволяя покрыть до 79 % потребностей здания за счёт возобновляемых источников энергии, снизить зависимость от внешней электросети и обеспечить резервное питание в аварийных ситуациях.

Применение интеллектуальных систем управления (BMS) позволяет оптимизировать потребление энергии, рационально распределять нагрузку, использовать прогнозные данные и тем самым максимально эффективно использовать вырабатываемую и накопленную энергию.

Экономическая целесообразность подтверждена снижением затрат на электроэнергию до 42 % и ожидаемым сроком окупаемости энергетической системы менее 8 лет, что делает такие решения перспективными для коммерческих и общественных зданий.

Экологическая эффективность выражается в существенном сокращении выбросов парниковых газов – на уровне более 19 тонн CO₂ в год, что способствует достижению целей устойчивого развития и климатической нейтральности.

Несмотря на положительные результаты, внедрение подобных решений требует учёта ряда факторов, включая климатические особенности региона, архитектурно-планировочные характеристики здания, начальные инвестиции и уровень подготовки эксплуатационного персонала.

В целом, полученные данные подтверждают жизнеспособность и перспективность использования ФЭС и СЭ в рамках энергоэксплуатации зданий нового поколения. Разработка и внедрение подобных решений являются важным шагом на пути к формированию устойчивой, энергонезависимой и экологически безопасной городской среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Pérez-Andreu, V., Aparicio-Fernández, C., Martínez-Ibernón, A., Vivancos, J. L. Impact of climate change on heating and cooling energy demand in a residential building in a Mediterranean climate. *Energy*. – 2018. – Vol. 165. – P. 63–74.

2 Kim, S. H., Lee, S., Han, S. Y., Kim, J. H. Scenario analysis for GHG emission reduction potential of the building sector for new city in South Korea. *Energies*. – Oct. 2020. – Vol. 13. – № 20. – P. 55–14.

3 Dominković, D., Dobravec, V., Jiang, Y., Nielsen, P., Krajačić, G. Modelling smart energy systems in tropical regions. // *Energy*. – Jul. 2018. – Vol. 155. – P. – 592–609.

4 Vahidinasab, V., Ardalani, C., Mohammadi-Ivatloo, B., Giaouris, D., Walker, S. L. Active building as an energy system: Concept, challenges, and outlook. // *IEEE Access*. – 2021. – Vol. 9. – P. 58009–58024.

5 Bourdeau, M., Zhai, X. Q., Nefzaoui, E., Guo, X., Chatellier, P. Modeling and forecasting building energy consumption: A review of data-driven techniques. *Sustainable Cities and Society*. – Jul. – 2019. – Vol. 48. – № 101533.

6 Li, W., Logenthiran, T., Phan, V. T., Woo, W. L. Implemented IoT-based self-learning home management system (SHMS) for Singapore. // *IEEE Internet of Things Journal*. – Jun. – 2018. – Vol. 5. – № 3. – P. 2212–2219.

7 Аюев, Б. И., Давыдов, В. В., Неуймин, В. Г. Анализ эффективности вычислительных моделей расчета установившихся режимов электрических систем. // *Электричество*. – 2008. – № 8. – С. 2–14.

8 Агеев, В. А., Душутин, К. А., Дудин, А. В. Сравнительный анализ методов расчета режимов электрических сетей // *Сельский механизатор*. – 2018. – №. 1. – С. 30–33.

9 **Поляхов, Н. Д. , Приходько, И. А. , Рубцов, И. А. , Швыров, И. В.** Оптимизация распределения потоков мощности в энергосистеме с помощью генетических алгоритмов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. – С. 170.

10 **Анисимов, Т. С.** Регулирование напряжения в распределительных сетях с помощью теории нечеткой логики // Введение в энергетику. Материалы I Всероссийской молодежной научно-практической конференции. – 2014. – С. 33.

REFERENCES

1 **Pérez-Andreu, V., Aparicio-Fernández, C., Martínez-Ibernón, A., Vivancos, J.-L.** Impact of climate change on heating and cooling energy demand in a residential building in a Mediterranean climate. // *Energy*. – 2018. – Vol. 165. – P. 63–74.

2 **Kim, S.-H., Lee, S., Han, S.-Y., Kim, J.-H.** Scenario analysis for GHG emission reduction potential of the building sector for new city in South Korea // *Energies*. – Oct. 2020. – Vol. 13. – № 20.–P. 55–14.

3 **Dominković, D., Dobravec, V., Jiang, Y., Nielsen, P., Krajačić, G.** Modelling smart energy systems in tropical regions. // *Energy*. – Jul. 2018. – Vol. 155. – P. – 592–609.

4 **Vahidinasab, V., Ardalan, C., Mohammadi-Ivatloo, B., Giaouris, D., Walker, S. L.** Active building as an energy system: Concept, challenges, and outlook. // *IEEE Access*. – 2021. – Vol. 9.– P. 58009–58024.

5 **Bourdeau, M., Zhai, X. Q., Nefzaoui, E., Guo, X., Chatellier, P.** Modeling and forecasting building energy consumption: A review of data-driven techniques // *Sustainable Cities and Society*. – Jul.,2019.–Vol. 48. – № 101–533.

6 **Li, W., Logenthiran, T., Phan, V.-T., Woo, W. L.** Implemented IoT-based self-learning home management system (SHMS) for Singapore. // *IEEE Internet of Things Journal*. – Jun. 2018 –Vol. 5. – № 3. – P. 2212–2219.

7 **Ayuev, B. I., Davydov, V. V., Neuimin, V. G.** Analiz effektivnosti vychislitel'nykh modelei dlya rascheta ustoichivyykh rezhimov elektricheskikh sistem [Analysis of the efficiency of computational models for calculating steady-state modes of electrical systems]. // *Elektrichestvo*.– 2008. – No. 8. – P. 2–14.

8 **Ageev, V. A., Dushutin, K. A., Dudin, A. V.** Sravnitel'nyi analiz metodov rascheta rezhimov elektricheskikh setei [Comparative analysis of methods for calculating electrical network modes]. *Sel'skaya mekhanika*. – 2018. – No. 1. – P. 30–33.

9 **Polyakhov, N. D., Prikhodko, I. A., Rubtsov, I. A., Shvyrov, I. V.** Optimizatsiya raspredeleniya potoka moshchnosti v energosisteme s ispol'zovaniem

geneticheskikh algoritmov [Optimization of power flow distribution in the power system using genetic algorithms]. // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2012. – No. 3. – P. 170.

10 **Anisimov, T. S.** Reguliatsiya napriazheniia v raspredelitel'nykh setiakh s ispol'zovaniem teorii nechetkoi logiki [Voltage regulation in distribution networks using fuzzy logic theory]. // Vvedenie v energetiku. Trudy I Vserossiiskoi molodezhnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. – 2014. – P. 33.

Поступило в редакцию 20.07.25.

Поступило с исправлениями 25.07.25.

Принято в печать 08.09.25.

*А. Б. Бекбаев¹, *Р. С. Ахамбаев², С. А. Минажова³,*

А. Д. Бердімұрат⁴, Н. Ж. Налибаев⁵

^{1,2,3}Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті.

Қазақстан Республикасы, Алматы қ;

^{4,5}«QazNRG Group» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

20.07.25 ж. баспаға түсті.

25.07.25 ж. түзетулерімен түсті.

08.09.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЖАҢАРТЫЛАТЫН ЭНЕРГИЯ КӨЗІМЕН ТҰРАҚТЫ ТҮРЛІЛІК ҮШІН ЭНЕРГИЯНЫ БАСҚАРУДЫ ҚҰРУ

Жаһандық климаттың өзгеруі және энергия тұтынудың жылдам өсуі жағдайында ғимараттардың энергия тиімділігін арттыру және тұрақты энергетикалық шешімдерді енгізу қажеттілігі артуда. Бұл құжат жаңартылатын энергия көздерін (ЖЭК) біріктіру арқылы олардың тұрақтылығын қамтамасыз етуге баса назар аудара отырып, ғимараттардың энергия менеджментіне назар аударады. Энергияны басқарудың заманауи технологиялары мен стратегиялары, соның ішінде күн батареяларын, жылу сорғыларын, жел турбиналарын және энергия сақтау жүйелерін пайдалану қарастырылған. Ғимаратты басқарудың интеллектуалды жүйелеріне (ФБИЖ) ерекше назар аударылады, бұл ресурстарды тұтынуды оңтайландыруға және көміртегі ізін азайтуға мүмкіндік береді. ЖЭК-ті тұрғын және коммерциялық ғимараттарға сәтті біріктіру мысалдары талданып, тұрақты даму талаптарын ескере отырып, ғимараттарды жобалау және пайдалану бойынша ұсыныстар берілген. Жұмыс төмен көміртекті экономикаға көшуді қолдауға

және қалалық ортаның экологиялық тұрақтылығын арттыруға бағытталған. Климаттың өзгеруінен туындаған қиындықтарға байланысты жасыл ғимараттардың танымалдығы артып келеді. Сонымен қатар, жаңа және жаңартылатын энергия көздерін басқару арқылы тұрақты дамуды қамтамасыз ету қажет болып отыр. Осыған байланысты бұл жұмыста фотоэлектрлік жүйелер (ФЖ) және энергия сақтау жүйелері (ЭСЖ) арқылы жаңартылатын энергия көздерімен біріктірілген ғимараттарды энергиямен қамтамасыз етуді оңтайландыру әдісінің ұсынысы мен эмпирикалық көрсетілімі сипатталған.

Кілтті сөздер: Ғимараттарды энергиямен басқару, жаңартылатын энергия көздері, энергия тиімділігі, интеллектуалды басқару жүйелері, нөлдік энергия тұтынатын ғимарат, экологиялық тұрақтылық, энергия үнемдеу, жаңартылатын энергияны біріктіру.

*A. B. Bekbayev¹, *R. S. Akhambayev², S. A. Minazhova³,*

A. D. Berdimurat⁴, N. Zh. Nalibayev⁵

^{1,2,3}*K. I. Satpayev Kazakh National Technical Research University,
Republic of Kazakhstan, Almaty;*

^{4,5}*«QazNRG Group» LLP. Republic of Kazakhstan, Almaty.*

Received 20.07.25.

Received in revised form 25.07.25.

Accepted for publication 08.09.25.

BUILDING ENERGY MANAGEMENT FOR SUSTAINABILITY WITH INTEGRATED RENEWABLE ENERGY SOURCES

In the context of global climate change and the rapid growth of energy consumption, there is an increasing need to improve the energy efficiency of buildings and introduce sustainable energy solutions. This paper is devoted to the issues of energy exploitation of buildings with an emphasis on ensuring their sustainability through the integration of renewable energy sources (RES). Modern technologies and strategies for energy management are considered, including the use of solar panels, heat pumps, wind turbines and energy storage systems. Special attention is paid to intelligent building management systems (IBMS), which optimize resource consumption and minimize the carbon footprint. The examples of successful integration of renewable energy sources into residential and commercial facilities are analyzed, and recommendations are given on the design and operation of buildings taking into account the requirements of sustainable development.

The work is aimed at supporting the transition to a low-carbon economy and increasing the environmental sustainability of the urban environment.

Due to the problems caused by climate change, the popularity of eco-friendly buildings is growing. Moreover, it is becoming necessary to ensure sustainable development through the management of new and renewable energy sources. In this regard, this article describes a proposal and empirical demonstration of a method for optimizing the energy supply of buildings integrated into renewable energy sources using photovoltaic systems (FVS) and energy storage systems (ESS).

Keywords: Energy management of buildings, renewable energy sources, energy efficiency, intelligent control systems, zero-energy building, environmental sustainability, energy saving, renewable energy integration.

Теруге 09.09.2025 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4447

Сдано в набор 09.09.2025 г. Подписано в печать 30.09.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4447

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz