



ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В УНИВЕРСИТЕТСКИХ КАМПУСАХ

А.М. Раимкулова* , А.О. Жагыпарова² , Ж.У. Тулегенова³

^{1,2} Евразийский национальный университет

им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

³ Казахский агротехнический исследовательский университет

им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

E-mail: : ¹araimkulova@gmail.com, ²zhagyparova_ao@enu.kz, ³tzhanu@mail.ru

Аннотация. Рост энергопотребления высших учебных заведений и увеличение коммунальных расходов усиливают необходимость поиска экономически эффективных решений в управлении университетской инфраструктурой. Целью статьи является оценка экономической целесообразности трансформации университетских кампусов в зеленые кампусы в период 2025–2031 гг. в условиях роста энергопотребления и увеличения коммунальных расходов высших учебных заведений. Особое внимание уделяется обоснованию внедрения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и устойчивых инфраструктурных решений как инструментов повышения финансовой устойчивости университетов.

Метод исследования базируется на системно-экономическом подходе, в рамках которого ключевым результативным показателем выступает удельное энергопотребление кампуса (кВт·ч/м²). Применена смешанная методология, включающая множественный линейный регрессионный анализ, анкетирование студентов и кейс-стади Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева.

Результаты свидетельствуют о том, что наибольший вклад в снижение удельного энергопотребления и эксплуатационных расходов обеспечивают внедрение ВИЭ и развитие систем переработки отходов. Данные меры формируют долгосрочный эффект экономии средств бюджета университета, повышают энергоэффективность инфраструктуры и способствуют укреплению финансовой устойчивости образовательной организации.

Выводы – модель зеленого кампуса может рассматриваться как инвестиционный механизм развития университетов, обеспечивающий сокращение издержек, повышение энергонезависимости и рост конкурентоспособности. Практическая значимость результатов особенно высока для стран с суровыми климатическими условиями, включая Казахстан, где вопросы энергоэффективности и рационального использования ресурсов приобретают стратегический характер.

Ключевые слова: зеленый кампус, экономическая эффективность, возобновляемая энергетика, энергоэффективность, эксплуатационные расходы, университетская инфраструктура, экономическая модель

Received 01.07.2025. Revised 29.04.2026. Accepted 20.05.2026. Available online 30.06.2026

*автор для корреспонденции

Введение

Современные университеты функционируют не только как образовательные и научные центры, но и как крупные экономические субъекты, обладающие значительными основными фондами, высокими операционными издержками и долгосрочными бюджетными обязательствами. Расходы на электроэнергию, отопление, водоснабжение и обслуживание инфраструктуры формируют существенную долю текущих затрат вузов, особенно в условиях роста тарифов и инфляционного давления.

Образовательные учреждения потребляют значительную долю энергетических ресурсов и генерируют существенные объемы отходов, что обуславливает необходимость пересмотра традиционных подходов к организации кампусной инфраструктуры. Трансформация университетских территорий в экологически устойчивые пространства представляет собой комплексную задачу, требующую интеграции технологических, образовательных и управленческих решений.

В этих условиях внедрение ВИЭ и энергоэффективных решений приобретает не только экологическое, но и выраженное экономическое значение. Переход к модели зеленого кампуса позволяет университетам рассматривать энергетическую инфраструктуру как объект долгосрочных инвестиций, обеспечивающих снижение операционных расходов, стабилизацию бюджета и снижение зависимости от внешних энерго-ресурсов.

Современная научная литература по вопросам устойчивого развития университетов, как правило, рассматривает отдельные направления зеленой трансформации кампусов. В ряде исследований основное внимание уделяется энергоэффективности зданий и внедрению ВИЭ, в других работах анализируются программы экологического образования или системы управления отходами. При этом данные элементы чаще всего изучаются разрозненно, без комплексной оценки их совместного влияния на энергопотребление и эксплуатационные расходы университетов.

В существующих публикациях недостаточно внимания уделяется количественной оценке экономических эффектов внедрения устойчивых решений на уровне кампусов, особенно в условиях ограниченных бюджетов и сурового климата. В связи с этим актуальной задачей является разработка модели, позволяющей рассматривать энергетические, экологические и образовательные меры как взаимосвязанные факторы, влияющие на уровень энергопотребления университетской инфраструктуры.

Целью данного исследования является разработка модели трансформации университетских кампусов в зеленые кампусы на основе интеграции ВИЭ, систем переработки отходов, озеленения территории и экологического образования с акцентом на их влияние на энергопотребление и эксплуатационные затраты.

Для достижения поставленной цели в работе определены следующие задачи:

- анализ существующих подходов к формированию зеленых кампусов в мировой практике;
- выявление взаимосвязи между внедрением устойчивых решений и уровнем энергопотребления кампуса на основе количественного анализа.

Исследование основывается на гипотезе о том, что комплексное внедрение ВИЭ и устойчивых инфраструктурных решений способствует снижению энергопотребления университетских кампусов и, как следствие, позволяет университетам сокращать эксплуатационные расходы.

Обзор литературы

Идея «зеленого кампуса» вышла за рамки простого озеленения территорий, эволюционировав в комплексную парадигму, охватывающую все аспекты функционирования университета – от инфраструк-

туры до учебного процесса и управления (Cole, 2003). Исследователи подчеркивают, что устойчивый кампус – это не только внедрение экологически чистых технологий, но и изменение культуры, поведения и образовательных подходов (Isa et al., 2021).

Инициатива «зеленого кампуса» была официально внедрена в 1990 году во Франции, где президенты и ректора вузов подписали Talloires Declaration – первый международный документ, обязывающий университеты внедрять устойчивое развитие в операционную и образовательную деятельность. На сегодняшний день этот документ подписан более 500 лидерами университетов из 50 стран (Isa et al., 2021).

Первоначально документ был сфокусирован на сокращении отходов и энергосбережении, однако, с развитием концепции устойчивого развития в образовании, она была расширена до интеграции обучения, управления ресурсами, социальной ответственности и инновационных технологий.

В 2010 году Университетом Индонезии был создан глобальный рейтинг университетов – UI GreenMetric, где оценивается, насколько экологично устроен кампус университета, а также, как вуз внедряет принципы устойчивого развития в свою инфраструктуру, политику и процесс образования (таблица 1). Рейтинг оценивает университеты по 6 критериям и присваивает за каждый из них баллы (UI GreenMetric, 2024).

Таблица 1 – Критерии оценки университетов

№	Наименование	Описание	% от общего балла
1.	Инфраструктура кампуса	наличие зеленых зон, экологичных зданий	15 %
2.	Энергия и климат	объем энергосбережения и выбросов CO ₂ , внедрение ВИЭ	21 %
3.	Утилизация отходов	сортировка и переработка	18 %
4.	Водные ресурсы	снижение объема потребления, сбор дождевой воды	10 %
5.	Транспорт	наличие зеленого транспорта, инфраструктуры	18 %
6.	Образование и исследования	количество курсов, исследований	18 %

Примечание: разработано авторами на основании рейтинга UI GreenMetric

Для университетов вхождение в список рейтинга повышает международный имидж и конкурентоспособность, а также помогает привлекать экоориентированных студентов и партнеров для дальнейшего развития экодвижения. К тому же, это дает возможность участвовать в конкурсах по присвоению грантов и финансирования по направлению устойчивого развития, таких как Erasmus Green.

Лидерами UI GreenMetric 2024 года являются Wageningen University & Research в Нидерландах, Nottingham Trent University в Великобритании, University of Groningen в Нидерландах, University College Cork в Ирландии (UI GreenMetric, 2024).

Энергетическая устойчивость признается краеугольным камнем «зеленого кампуса», поскольку потребление энергии является одним из основных источников выбросов парниковых газов и значительных эксплуатационных расходов. Многие университеты по всему миру активно внедряют солнечные фотоэлектрические системы, геотермальные установки и другие ВИЭ. Исследования анализируют технические возможности и экономическую целесообразность интеграции солнечной энергии в университетские здания, подчеркивая потенциал значительной экономии (Dyer & Dyer, 2018).

Помимо ВИЭ, жизненно важна оптимизация потребления энергии. Исследования показывают, что меры по повышению энергоэффективности зданий, такие как улучшение изоляции, модернизация систем HVAC и внедрение умного освещения, могут принести немедленную и значительную экономию (Sayigh, 2014).

Экологический аспект «зеленого кампуса» охватывает не только энергетику, но и комплексное управление водными ресурсами, отходами, а также создание и поддержание биоразнообразия. Некоторые авторы также рассматривают стратегии сокращения, повторного использования и переработки отходов на университетских территориях, а также роль осведомленности студентов и сотрудников (Abd Manaf et al., 2017).

Образовательная составляющая является уникальной особенностью университетского «зеленого» кампуса, позволяя интегрировать устойчивое развитие в академическую и повседневную жизнь.

Авторы в исследованиях показывают, что переход к зеленому кампусу невозможен без участия студентов, преподавателей и сотрудников вуза, таким образом, внедрение лекций, мастер-классов и экоклубов играет важную роль в долгосрочных трансформациях (Mou et al., 2024). К тому же, согласно исследованию, проведенному в декабре 2023 года на основе онлайн-опроса 745 студентов Университета Иордании, инициатива «зеленый-умный кампус» оказало значительное положительное влияние на вовлеченность студентов и корпоративный имидж университета (Al-Dmour, 2023). Кампусы, продвигающие экологические практики, такие как программы переработки отходов и экологичный транспорт, продемонстрировали более высокий уровень вовлеченности студентов в мероприятия, связанные с устойчивым развитием.

Одним из плюсов перехода на экологически чистые решения в строительстве, энергосбережении и устройстве жизнедеятельности университетов считается экономическая выгода в результате вторичного использования сырья, уменьшения количества отходов, а также потребления воды и электроэнергии. Согласно исследованию Национальной федерации дикой природы США, проведенного на основе данных из 15 государственных и частных колледжей и университетов США с численностью от нескольких тысяч до 40 000 учащихся, экономия средств по каждому проекту составляет от \$1000 до \$9 миллионов в год (Akindeji & Ewim, 2023). Проекты вузов охватывают транспорт, снижение потребления воды и энергии, повторное использование материалов, компостирование и переработка отходов. Общая годовая экономия по этим проектам составила \$16 755 500 (Akindeji & Ewim, 2023). Более того, государственный университет Нью-Йорка в Буффало (SUNY Buffalo) благодаря последовательной реализации различных проектов по энергосбережению избежал затрат на сумму свыше \$60 миллионов (Mahdee et al., 2022). В 2023 году было опубликовано исследование, в котором в качестве предмета исследования был использован зеленый кампус Ховард Колледжа Университета Квазулу-Натал (UKZN). Для анализа использовались метеорологические данные, полученные от NASA, и реальные почасовые данные об энергопотреблении за 2019 год, полученные с умных счетчиков университета. Результаты показали значительную экономию на коммунальных платежах – 15,7 млн рандов (приблизительно 820 000 долларов США в год), снижение выбросов CO₂ на 51%, рентабельность инвестиций (ROI) – 20% при сроке окупаемости – 4 года. (Mahdee et al., 2022)

Однако, согласно исследованию, проведенным в октябре 2022 года Мультимедийным университетом Малайзии, переход на «зеленый кампус» требует немалых затрат на обслуживание уникальных зеленых зон, а также регулярного обновления оборудования в связи с быстрым устареванием технологий, и в дополнение недостаток финансовой и интеллектуальной поддержки со стороны государства и экспертов (Mahdee et al., 2022).

Вместе с тем, зеленые кампусы способствуют экологическому мышлению, удовлетворенности от кампусной среды и даже влияют на выбор абитуриентов. Данное исследование подтверждает важность взаимосвязи между устойчивой энергетикой, экологией и образовательной средой (Tiyarattanachai & Hollmann, 2016).

Более того, Университет UiTM Perak (Малайзия), где инициатива «зеленого кампуса» реализуется с 2016 года, показал, что устойчивые изменения возможны даже при ограниченных финансовых ресурсах, если применяются образовательные, организационные и инфраструктурные стратегии совместно (Alshuwaikhat & Abubakar, 2008). В рамках данного исследования переход к зеленому кампусу шел поэтапно – от малобюджетных инициатив к более капиталоемким решениям. Приоритет отдавался вовлечению студентов и персонала, а не только технологиям. Образование было ключевым инструментом устойчивой трансформации кампуса.

Кампус как «живая лаборатория»: Университеты все чаще используют свою инфраструктуру в качестве площадки для обучения и исследований. Исследования подчеркивают, что реальные проекты по

энергосбережению или внедрению ВИЭ на кампусе могут служить отличным инструментом для практического обучения студентов и проведения научных исследований (Leal Filho, 2011).

Исследования предлагают комплексные модели для оценки и управления устойчивостью кампусов. Однако, часто указываются общие вызовы, такие как недостаток финансирования, сопротивление изменениям, отсутствие четкой государственной политики и необходимость междисциплинарного сотрудничества (Brandes & Glander, 2016; Lozano et al., 2015).

Существует обширная литература, подтверждающая, что внедрение ВИЭ и устойчивых инфраструктурных практик приводит к снижению энергопотребления и эксплуатационных расходов университетов.

Методы исследования

В рамках настоящего исследования применен смешанный методологический подход, включающий как количественные, так и качественные методы анализа. Это обусловлено необходимостью получения как объективных показателей, так и субъективных оценок участников образовательного процесса.

Качественный метод исследования был представлен опросом на платформе Google Forms среди учащихся ведущих вузов Казахстана и анализом на основе полученных ответов, а также в качестве кейс-стади был выбран Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (далее – Университет) как вуз, который в 2024 году сформировал Центр устойчивого развития (ENU, 2024).

Применение множественной линейной регрессии позволяет не только оценить экологический эффект внедрения устойчивых решений, но и интерпретировать их как факторы снижения издержек. Полученные коэффициенты модели могут быть использованы для расчета экономии средств, оценки инвестиционной эффективности и формирования финансово обоснованных управленческих решений в сфере развития университетской инфраструктуры. Таким образом,

- зависимая переменная (y): энергопотребление кампуса на m^2 ($кВт \cdot ч / m^2$ в год);
- независимые переменные (x_1-x_4) представлены в Таблице 2.

Таблица 2 – Независимые переменные (x_1-x_4)

Переменная	Обозначение	Ед. измерения	Пояснение
Площадь солнечных панелей	x_1	m^2	Рост ВИЭ снижает потребление энергии
Доля переработки отходов	x_2	% от общего объема	Меньше отходов → рациональнее ресурсы
Озеленение кампуса	x_3	% от общей площади	Снижает тепловую нагрузку на здания
Количество экокурсов	x_4	Кол-во курсов в год	Влияет на поведение студентов и сотрудников

Примечание: составлено авторами

Также, для построения модели развития зеленого кампуса на базе Университета была сделана выборка данных по предположительным показателям независимых переменных в промежутке 7 лет (2025–2031) на основании Плана мероприятий по реализации Политики в области устойчивого развития Университета на 2024–2026 годы, принятого и определяющего деятельность Центра устойчивого развития Университета (таблица 3).

Таблица 3 – Симулированные данные на основе модели Университета

Год	ВИЭ, m^2	Переработка, %	Озеленение, %	Эко-курсы	Энергия на m^2
2025	30	5	8	1	170
2026	60	12	12	4	155

2027	100	20	18	8	140
2028	140	30	22	12	125
2029	170	40	25	16	110
2030	200	50	30	20	100
2031	230	60	35	25	90

Примечание: составлено авторами

Формализация модели

В рамках построения модели использовано следующее уравнение множественной линейной регрессии:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \varepsilon_y \quad (1)$$

где:

y – удельное энергопотребление кампуса (кВт·ч/м² в год);

x_1 – площадь установленных солнечных панелей (м²);

x_2 – доля перерабатываемых отходов (% от общего объема);

x_3 – доля озелененной территории (% от площади кампуса);

x_4 – количество курсов, интегрированных в учебный процесс и посвященных вопросам устойчивого развития (шт.);

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – коэффициенты модели;

ε_y – случайная погрешность.

На основе этой симуляции была составлена панель данных за 7 лет (2025–2031 гг.), отражающая постепенное расширение устойчивых решений в кампусе, включая рост площади ВИЭ, развитие переработки, озеленения и образовательных программ. Смоделированные значения отражают реалистичную и поэтапную трансформацию кампуса с ориентацией на стратегические цели устойчивого развития.

Результаты модели:

$$y = 180.64 - 0.56x_1 - 0.27x_2 + 0.6x_3 + 1.28x_4 \quad (2)$$

Анализ показал, что:

- Увеличение площади ВИЭ на каждые 10 м² приводит к снижению удельного энергопотребления на 5,55 кВт·ч/м²;
- Увеличение доли переработки отходов на 10 % – к снижению на 2,73 кВт·ч/м²;
- Положительный коэффициент озеленения может быть обусловлен коллинеарностью или латентными переменными, что требует дальнейшего исследования;
- Количество экокурсов в текущей модели показывает отложенный и неочевидный эффект, что может быть связано с временной инерцией поведенческих изменений.

Полученная модель может быть использована как инструмент прогнозной оценки влияния устойчивых инициатив. Так, если университет:

- увеличит площадь солнечных панелей на 100 м²;
- доведет переработку отходов до 60 %;
- озеленит 30 % территории;
- и внедрит 20 учебных дисциплин, посвященных устойчивому развитию

можно снизить энергопотребление на 40–50 кВт·ч/м² в год по сравнению с исходными показателями.

Это соответствует сокращению совокупного энергопотребления зданий кампуса на 25–30 %.

С экономической точки зрения выявленные зависимости подтверждают, что инвестиции в ВИЭ обладают наибольшим потенциалом снижения удельных эксплуатационных расходов. Сокращение энергопотребления на 25–30 % в годовом выражении означает прямую экономию бюджетных средств, которые могут быть перераспределены на развитие образовательных программ, научных исследований и социальной инфраструктуры университета.

Так как экологическая просвещенность студентов является неотъемлемой частью перехода к зеленым кампусам, в рамках данного исследования был проведен опрос. По результатам опроса, почти 61 % респондентов осведомлены о понятии «зеленый кампус». Однако, на следующий вопрос лишь 13 % опрошенных ответили, что часто замечают мероприятия, проводимые университетом по теме экологии, что говорит о довольно слабой работе центров устойчивого развития при университетах (рисунок 1).

Экологические мероприятия в университете



Рисунок 1 – Экологические мероприятия в университете

Примечание: составлено на основании проведенного опроса

95,7 % участников опроса готовы принять участие в экологических акциях на территории университета, однако, лишь 65 % готовы принимать непосредственно активное участие, что тоже приемлемый показатель готовности студентов поддерживать инициативу университета.

Далее, респонденты отметили, что сортировка мусора, озеленение территории и проведение лекций и курсов по экологической просвещенности – наиболее актуальные направления для развития (рисунок 2).

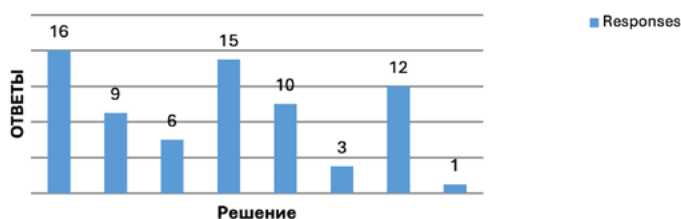


Рисунок 2 – Актуальные экологические решения

Примечание: составлено на основании проведенного опроса

К тому же, почти 70 % опрошенных считают, что бюджет университета лучше направлять на решение экологических вопросов, даже если это повлечет сокращение расходов, к примеру, на развлекательные мероприятия.

Так, наибольшее количество респондентов (65,2 %) указали, что предпочитают передвигаться пешком, на велосипеде или электросамокате, демонстрируя устойчивые поведенческие практики в сфере мобильности. Почти 61% используют многоразовые бутылки для воды.

Сортировка отходов и экономия воды практикуются реже – по 26,1 %. При этом ни один из участников не сообщил о сдаче стекла и пластика на переработку, а также об отсутствии любых эко-привычек, что говорит о потенциальном интересе и вовлеченности большинства студентов (рисунок 3).

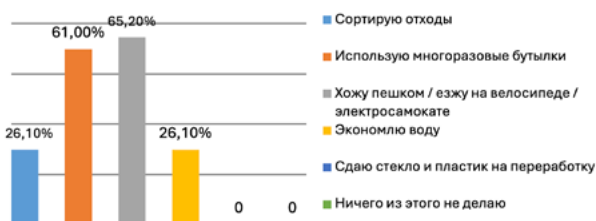


Рисунок 3 – Экологические привычки

Примечание: составлено на основании проведенного опроса

Основной мотивацией к участию в экологических проектах в университете стала осознанная забота об экологии – ее выбрали 56,5 % респондентов. Вторым по значимости стимулом выступили денежные бонусы или скидки на территории университета (26,1 %), а улучшение портфолио или резюме указали 17,4 %. Ни один участник не выбрал вариант «ничего не мотивирует», что отражает позитивный настрой аудитории к участию в экологической трансформации кампуса.

Результаты и Обсуждение

Проведенный регрессионный анализ позволил выявить количественные зависимости между ключевыми показателями устойчивого развития университетской инфраструктуры и уровнем удельного энергопотребления кампуса. Полученные результаты подтверждают, что элементы зеленой трансформации – прежде всего технологические решения – формируют не только экологический, но и выраженный экономический эффект, проявляющийся в снижении эксплуатационных затрат и повышении энергоэффективности университетов.

Наибольшее влияние на сокращение энергопотребления оказывает расширение использования ВИЭ. Согласно результатам модели, увеличение площади солнечной генерации на каждые 10 м² сопровождается снижением энергопотребления в среднем на 5,55 кВт·ч/м². Данный результат согласуется с выводами Dyer & Dyer (2018), которые также отмечают ведущую роль солнечных фотоэлектрических систем в снижении энергетических и финансовых издержек университетских кампусов (Dyer & Dyer, 2018). Вместе с тем, в отличие от большинства предыдущих исследований, ориентированных преимущественно на мягкий или умеренный климат, полученные в данной работе оценки демонстрируют устойчивый эффект ВИЭ в условиях резко континентального климата, что подчеркивает их экономическую целесообразность для университетов Казахстана.

Вторым по значимости фактором выступает развитие системы переработки отходов. Повышение доли перерабатываемых фракций на 10% приводит к снижению энергопотребления на 2,73 кВт·ч/м². Аналогичные выводы представлены в работах Abd Manaf et al. (2017) и Akindeji & Ewim (2023), где переработка отходов рассматривается как инструмент косвенного снижения энергетической нагрузки и операционных расходов [6,9]. В отличие от этих исследований, в настоящей работе данный эффект дополнительно интерпретируется с позиции экономического поведения, поскольку развитие переработки отходов способствует формированию ресурсосберегающей культуры и снижению затрат на вывоз и утилизацию отходов в долгосрочной перспективе.

В целом, полученные результаты дополняют существующую научную литературу, демонстрируя, что наибольший экономический эффект в университетской среде достигается за счет инвестиций в ВИЭ и инфраструктурные решения с прямым влиянием на энергопотребление. В отличие от большинства предыдущих работ, ориентированных на описательный или экологический анализ, настоящая модель позволяет количественно интерпретировать устойчивые инициативы как инструменты снижения издержек и повышения финансовой устойчивости университетов.

Результаты анкетного опроса подтверждают наличие высокого потенциала для реализации устойчивых решений с минимальными дополнительными затратами. Высокий уровень готовности студентов к участию в экологических инициативах согласуется с выводами Mou et al. (2024) и Al-Dmour (2023), где вовлеченность обучающихся рассматривается как фактор снижения транзакционных издержек при внедрении зеленых проектов [7,8]. Однако, как и в ряде предыдущих исследований, дальнейшая институционализация этих практик требует активной роли руководства университета и интеграции экономических стимулов.

Особенностью рассматриваемого кейса является расположение кампусов в условиях сурового климата города Астаны, характеризующегося высокими затратами на отопление в зимний период. Это усиливает экономическую значимость полученных результатов, поскольку подтверждает, что даже в экстремальных климатических условиях инвестиции в ВИЭ способны обеспечивать устойчивое сокращение энергопотребления и эксплуатационных расходов. Таким образом, зеленый кампус в данном контексте выступает не только экологической инициативой, но и инструментом долгосрочной оптимизации бюджета университета.

Заключение

Результаты исследования подтверждают, что внедрение ВИЭ и устойчивых инфраструктурных решений в университетских кампусах является экономически целесообразной стратегией развития. Снижение удельного энергопотребления приводит к сокращению эксплуатационных расходов, повышению энергонезависимости и формированию устойчивой финансовой модели функционирования вуза.

Предложенная модель зеленого кампуса может быть использована университетами как инструмент инвестиционного планирования, позволяющий оценивать экономический эффект от внедрения ВИЭ, переработки отходов и энергоэффективных технологий. В условиях роста тарифов и бюджетных ограничений переход к зеленым кампусам становится не только экологическим, но и финансово обоснованным решением, способствующим долгосрочной экономии ресурсов и повышению конкурентоспособности высших учебных заведений.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Авторы подтверждают соответствие своего авторства критериям и несут ответственность за все аспекты работы.

Вклад авторов:

А.М. Раимкулова – разработка концепции исследования, формулирование цели и задач, подготовка теоретической части, обобщение научной литературы.

А.О. Жагыпарова – сбор и систематизация данных, проведение расчетов, анализ экономической эффективности внедрения ВИЭ в университетских кампусах.

Ж.У. Тулегенова – интерпретация результатов исследования, подготовка выводов, редактирование текста статьи и проверка соответствия научным требованиям.

Список литературы

1. Abd Manaf, N. A., Abdul-Rahman, N., & Omar, S. S. (2017). Campus solid waste management: Current practices and challenges. *Procedia Engineering*, 2017(18), 30–38.
2. Akindeji, K. T., & Ewim, D. R. E. (2023). Economic and environmental analysis of a grid-connected hybrid power system for a university campus. *Energy, Sustainability and Society*. Retrieved April 24, 2025, from <https://bnrc.springeropen.com/articles/10.1186/s42269-023-01053-6>
3. Al-Dmour, H. (2023). Green-smart university campuses: The mediating role of student engagement in enhancing corporate image. *SAGE Open*. Retrieved July 9, 2025, from <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/21582440231219591>
4. Alshuwaikhat, H. M., & Abubakar, I. (2008). An integrated approach to achieving campus sustainability: Assessment of the current campus environmental management practices. *Journal of Cleaner Production*, 2008(6), 17–18.
5. Brandes, L., & Glander, T. (2016). University campus sustainability performance assessment: A review of existing frameworks. *Journal of Cleaner Production*, 2016(2), 19–32.
6. Cole, R. J. (2003). Transitions from green to sustainable: The challenge of integrating sustainability into higher education. *Higher Education Environmental Design Guide*, 2003, 54–58.
7. Dyer, R. S., & Dyer, J. A. (2018). Solar energy for university campuses: A review of applications and economic feasibility. *Journal of Cleaner Production*, 197(1), 14–16.
8. Isa, H. M., Sedhu, D. S., et al. (2021). Strategies, challenges and solutions towards the implementation of green campus in UiTM Perak. *Planning Malaysia*, 19(2), 60–71.
9. Leal Filho, W. (2011). The sustainable university: Progress and challenges, 2011, 21–23.
10. Lozano, R., Lukman, R., Lozano, F. J., Huisingh, D., & Salvia, A. L. (2015). Responsible management education through principles for responsible management education: The case of two universities. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 98–96.
11. Mahdee, J., Abu Bakar, N., & Oh Kim Seng, V. (2022). Green campus universities: Case studies on problems

- and prospects. Retrieved June 7, 2025, from <https://www.researchgate.net/publication/364596306>
12. Mou, X., Widarman, B. B. Y. K., & Cao, J. (2024). The relationship between green management of organizational culture, green behavior and green campus in private universities: A conceptual paper. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 2024, 40–43.
 13. Sayigh, A. (2014). Renewable energy in the service of mankind, 2014(2), 20–25.
 14. Tiyyarattanachai, R., & Hollmann, N. M. (2016). Green campus initiative and its impacts on quality of life of stakeholders in green and non-green campus universities. *SpringerPlus*, 2016(5), Article 84. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1697-4>
 15. UI GreenMetric World University Rankings 2024. (2024). Retrieved May 20, 2025, from <https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overall-rankings-2024>
 16. Абакумов, Е. В., & Беpestен, С. С. (2023). Green Campus as a part of environmental management of St. Petersburg State University. *Sustainability*, 2023(15), 16–20. <https://doi.org/10.3390/su151612515>
 17. План мероприятий по реализации Политики в области устойчивого развития НАО «Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева» на 2024–2026 годы. (2024). Retrieved June 6, 2025, from <https://smart.enu.kz/api/serve?path=/general/files/2820651e-7108-4c17-bc54-e56d2b1a37d0.pdf>

А. Раимқұлова^{1*}, А. Жағыпарова¹, Ж.У. Тулегенова²

¹Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

²С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

Университет кампустарында жаңартылатын энергия көздерін енгізудің экономикалық тиімділігі

Аңдатпа. Жоғары оқу орындарындағы энергия тұтынудың өсуі және коммуналдық шығындардың артуы университет инфрақұрылымын басқаруда экономикалық тиімді шешімдерді іздеу қажеттілігін күшейтеді. Мақаланың мақсаты – 2025–2031 жылдар кезеңінде жоғары оқу орындарында энергия тұтыну мен коммуналдық шығындардың өсуі жағдайында университет кампустарын жасыл кампусқа трансформациялаудың экономикалық орындылығын бағалау. Университеттердің қаржылық тұрақтылығын арттыру құралы ретінде жаңартылатын энергия көздерін (ЖЭК) енгізуді және тұрақты инфрақұрылымдық шешімдерді негіздеуге ерекше назар аударылады.

Зерттеу әдісі жүйелік-экономикалық тәсілге негізделген, оның шеңберінде негізгі нәтижелік көрсеткіш ретінде кампустың меншікті энергия тұтынуы ($\text{kBt} \cdot \text{сағ} / \text{м}^2$) қарастырылады. Зерттеуде аралас әдіснама қолданылды, оған көп факторлы сызықтық регрессиялық талдау, студенттер арасында сауалнама жүргізу және Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің кейс-стади кіреді.

Нәтижелер меншікті энергия тұтынуды және пайдалану шығындарын төмендетуге ең үлкен үлесті ЖЭК енгізу мен қалдықтарды қайта өңдеу жүйелерін дамыту қамтамасыз ететінін көрсетеді. Аталған шаралар университет бюджетінің ұзақ мерзімді үнемдеу әсерін қалыптастырып, инфрақұрылымның энергия тиімділігін арттырады және білім беру ұйымының қаржылық тұрақтылығын нығайтуға ықпал етеді.

Қорытынды – жасыл кампус моделі университеттерді дамытудың инвестициялық тетігі ретінде қарастырылуы мүмкін, ол шығындарды қысқартуды, энергия тәуелсіздігін арттыруды және бәсекеге қабілеттіліктің өсуін қамтамасыз етеді. Зерттеу нәтижелерінің практикалық маңыздылығы, әсіресе, климаттық жағдайы қатаң елдер үшін, соның ішінде Қазақстан үшін жоғары, мұнда энергия тиімділігі мен ресурстарды ұтымды пайдалану мәселелері стратегиялық мәнге ие.

Түйін сөздер: жасыл кампус, орнықты инфрақұрылым, жаңартылатын энергетика, энергия тиімділігі, экологиялық білім, білім беру мекемелері, экология.

Economic efficiency of renewable energy integration in university campuses

Abstract. The growth of energy consumption in higher education institutions and the increase in utility expenditures intensify the need to identify economically efficient solutions in the management of university infrastructure. The purpose of this article is to assess the economic feasibility of transforming university campuses into green campuses during the period 2025–2031 under conditions of rising energy consumption and increasing utility costs. The implementation of renewable energy sources (RES) and sustainable infrastructure solutions as instruments for enhancing the financial sustainability of universities.

The research method is based on a systemic economic approach, within which the key performance indicator is the specific energy consumption of the campus (kWh/m²). A mixed methodology is applied, including multiple linear regression analysis, a student survey, and a case study of L.N. Gumilyov Eurasian National University.

The results indicate that the implementation of RES and the development of waste management systems make the greatest contribution to reducing specific energy consumption and operating costs. These measures generate a long-term budget savings effect, improve infrastructure energy efficiency, and strengthen the financial sustainability of the educational institution.

Conclusions – the green campus model can be considered as an investment mechanism for university development, ensuring cost reduction, increased energy independence, and enhanced competitiveness, especially for countries with severe climatic conditions, including Kazakhstan.

Keywords: green campus, sustainable infrastructure, renewable energy, energy efficiency, environmental education, educational institutions, ecology.

References

1. Abd Manaf, N. A., Abdul-Rahman, N., & Omar, S. S. (2017). Campus solid waste management: Current practices and challenges. *Procedia Engineering*, 2017(18), 30–38 [in English].
2. Akindeji, K. T., & Ewim, D. R. E. (2023). Economic and environmental analysis of a grid-connected hybrid power system for a university campus. *Energy, Sustainability and Society*. Retrieved April 24, 2025, from <https://bnrc.springeropen.com/articles/10.1186/s42269-023-01053-6> [in English].
3. Al-Dmour, H. (2023). Green-smart university campuses: The mediating role of student engagement in enhancing corporate image. *SAGE Open*. Retrieved July 9, 2025, from <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/21582440231219591> [in English].
4. Alshuwaikhat, H. M., & Abubakar, I. (2008). An integrated approach to achieving campus sustainability: Assessment of the current campus environmental management practices. *Journal of Cleaner Production*, 2008(6), 17–18 [in English].
5. Brandes, L., & Glander, T. (2016). University campus sustainability performance assessment: A review of existing frameworks. *Journal of Cleaner Production*, 2016(2), 19–32 [in English].
6. Cole, R. J. (2003). Transitions from green to sustainable: The challenge of integrating sustainability into higher education. *Higher Education Environmental Design Guide*, 2003, 54–58 [in English].
7. Dyer, R. S., & Dyer, J. A. (2018). Solar energy for university campuses: A review of applications and economic feasibility. *Journal of Cleaner Production*, 197(1), 14–16 [in English].
8. Isa, H. M., Sedhu, D. S., et al. (2021). Strategies, challenges and solutions towards the implementation of green campus in UiTM Perak. *Planning Malaysia*, 19(2), 60–71 [in English].
9. Leal Filho, W. (2011). The sustainable university: Progress and challenges, 2011, 21–23 [in English].
10. Lozano, R., Lukman, R., Lozano, F. J., Huisingh, D., & Salvia, A. L. (2015). Responsible management education

through principles for responsible management education: The case of two universities. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 98–96 [in English].

11. Mahdee, J., Abu Bakar, N., & Oh Kim Seng, V. (2022). Green campus universities: Case studies on problems and prospects. Retrieved June 7, 2025, from <https://www.researchgate.net/publication/364596306> [in English].
12. Mou, X., Widarman, B. B. Y. K., & Cao, J. (2024). The relationship between green management of organizational culture, green behavior and green campus in private universities: A conceptual paper. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 2024, 40–43 [in English].
13. Sayigh, A. (2014). Renewable energy in the service of mankind, 2014(2), 20–25 [in English].
14. Tiyyarattanachai, R., & Hollmann, N. M. (2016). Green campus initiative and its impacts on quality of life of stakeholders in green and non-green campus universities. *SpringerPlus*, 2016(5), Article 84. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1697-4> [in English].
15. UI GreenMetric World University Rankings 2024. (2024). Retrieved May 20, 2025, from <https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overall-rankings-2024> [in English].
16. Abakumov, E. V., & Beresten, S. S. (2023). Green Campus as a part of environmental management of St. Petersburg State University. *Sustainability*, 2023(15), 16–20. <https://doi.org/10.3390/su151612515> [in English].
17. Plan meropriyatiy po realizatsii Politiki v oblasti ustoychivogo razvitiya NAO «Evraziyskiy natsional'nyy universitet imeni L. N. Gumileva» na 2024–2026 gody [Action plan for the implementation of the Sustainable Development Policy of NJSC “L. N. Gumilyov Eurasian National University” for 2024–2026]. (2024). Retrieved June 6, 2025, from <https://smart.enu.kz/api/serve?path=/general/files/2820651e-7108-4c17-bc54-e56d2b1a37d0.pdf> [in Russian].

Сведения об авторах:

Раимкулова А.М. – автор для корреспонденции, докторант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 11, 010008, Астана, Казахстан.

Жагыпарова А.О. – к.э.н., профессор, декан экономического факультета, Евразийский Национальный Университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 11, 010008, Астана, Казахстан.

Тулегенова Ж.У. – к.э.н., старший преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, ул. Женис, 62, 010011, Астана, Казахстан.

Раимқұлова А.М. – хат-хабар авторы, докторант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көшесі, 11, 010008, Астана, Қазақстан.

Жагыпарова А.О. – э.ғ.к., профессор, экономика факультетінің деканы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көшесі, 11, 010008, Астана, Қазақстан.

Тулегенова Ж.У. – э.ғ.к., аға оқытушы, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы, 62, 010011, Астана, Қазақстан.

Raimkulova A.M. – Corresponding author, Doctoral Student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 11 Kazhymukan street, 010008, Astana, Kazakhstan.

Zhagyparova A.O. – PhD in Economics, Professor, Dean of the Faculty of Economics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 11 Kazhymukan street, 010008, Astana, Kazakhstan.

Tulegenova Zh.U. – Candidate of Economic Sciences, Senior Lecturer, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, 62 Zhenis Ave., 010011, Astana, Kazakhstan.



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4>).