© Бобожанов М.К., Попкова О.С., Очилов Ю.О., Имомов Д.Д.

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

(cc) BY

УДК 621.3.042.2

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ТАРИФОВ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Бобожанов М.К.[1], Попкова О.С.[2], Очилов Ю.О.[3], Имомов Д.Д.[1]

[1]Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент, Узбекистан
[2]Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия
[3]Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан
oksiniy@mail.ru

Резюме: *АКТУАЛЬНОСТЬ. Внедрение системы дифференцированного тарифа оплаты за электроэнергию представляет собой важное и актуальное направление в сфере энергетики, обладая множеством значительных преимуществ. Данная система играет ключевую роль в повышении общей эффективности использования электроэнергии, а также в снижении объемов её потребления в периоды, когда наблюдается максимальная нагрузка на электрическую сеть. Это, в свою очередь, способствует оптимизации расходов как для потребителей, так и для энергетических компаний. Решение этих задач становится приоритетным направлением в современных условиях, когда растет потребление электроэнергии и возникают проблемы с ее стабильным и эффективным распределением. ЦЕЛЬ. Основная цель внедрения системы дифференцированных тарифов заключается в увеличении эффективности использования электроэнергии в рамках всей электроэнергетической системы. Это может быть достигнуто путем разработки и внедрения тарифов, которые будут варьироваться в зависимости от времени суток и объема потребления. Такой подход позволит оптимизировать электрические нагрузки, что приведет к повышению энергоэффективности в энергосистеме. В результате перехода населения на систему тарифов, которые зависят от времени, можно будет значительно выровнять пики потребления электроэнергии, что, в свою очередь, снизит нагрузку на электрические сети и трансформаторы, позволяя избежать перегрузок и сбоев в подаче электроэнергии. МЕТОДЫ. Для проведения анализа данных использовался сравнительный анализ, который позволил выявить как сходства, так и различия между различными параметрами, связанными с потреблением электроэнергии. Количественные данные обрабатывались с применением метода наименьших квадратов, что обеспечивало нахождение оптимальных параметров для моделей. В рамках исследования также проводилось сопоставление различных показателей, что способствовало выявлению корреляций и зависимостей между ними. Для статистической обработки результатов были использованы методы математической статистики, которые позволили оценить достоверность полученных данных и сделать обоснованные выводы. В частности, для технико-экономической оценки и прогнозирования потребления электроэнергии был применен симплекс-метод, который оптимизирует распределение ресурсов и позволяет более эффективно управлять потреблением электроэнергии. РЕЗУЛЬТАТЫ. В результате проведенного анализа были разработаны четкие и обоснованные рекомендации для перехода бытовых потребителей на систему дифференцированных тарифов. Эти рекомендации направлены на снижение уровня нагрузки на питающие силовые трансформаторы, что является важным шагом к улучшению надежности и устойчивости электроснабжения. Внедрение дифференцированных тарифов позволит не только оптимизировать потребление электроэнергии, но и повысить уровень осведомленности потребителей о том, как их действия влияют на общую нагрузку на энергосистему. Это, в свою очередь, может способствовать более рациональному и экономному использованию электроэнергии, что является важным аспектом в условиях современного мира, где ресурсы становятся все более ограниченными. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Внедрение системы*

дифференцированного тарифа оплаты за электроэнергию представляет собой важный шаг к созданию более эффективной и устойчивой энергетической системы, что, безусловно, принесет пользу как потребителям, так и энергетическим компаниям.

Ключевые слова: *дифференцированные тарифы; график электрических нагрузок; динамическая тарификация; энергосбережение; затраты потребителей; оптимизация нагрузки; пиковые нагрузки; минимальные нагрузки; тарифная политика; экономическая эффективность; распределение энергии; выравнивание графиков нагрузки.*

Для цитирования: Бобожанов М.К., Попкова О.С., Очилов Ю.О., Имомов Д.Д. Разработка методики применения системы дифференцированных тарифов на основе динамического моделирования // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2025. Т. 17. № 3 (67). С. 3-17.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR APPLYING A SYSTEM OF DIFFERENTIATED TARIFFS BASED ON DYNAMIC MODELING

Bobojanov M.K.[1], Popkova O.S.[2], Ochilov Y.O.[3], Imomov D.D.[1]

[1]Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan
[2]Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia
[3]Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan
oksiniy@mail.ru

Abstract: *RELEVANCE. The introduction of a differentiated tariff system for electricity payment is an important and relevant area in the energy sector, with many significant advantages. This system plays a key role in increasing the overall efficiency of electricity use, as well as in reducing its consumption during periods of maximum load on the electrical grid. This, in turn, helps optimize costs for both consumers and energy companies. Solving these problems is becoming a priority in modern conditions, when electricity consumption is growing and problems arise with its stable and efficient distribution. THE PURPOSE. The main purpose of introducing a differentiated tariff system is to increase the efficiency of electricity use throughout the entire electric power system. This can be achieved by developing and implementing tariffs that will vary depending on the time of day and the volume of consumption. This approach will optimize electrical loads, which will lead to increased energy efficiency in the power system. As a result of the population's transition to a time-dependent tariff system, it will be possible to significantly level out peaks in electricity consumption, which, in turn, will reduce the load on electrical networks and transformers, avoiding overloads and power outages. METHODS. To analyze the data, a comparative analysis was used, which made it possible to identify both similarities and differences between various parameters associated with electricity consumption. Quantitative data were processed using the least squares method, which ensured the optimal parameters for the models were found. The study also compared various indicators, which helped to identify correlations and dependencies between them. For statistical processing of the results, methods of mathematical statistics were used, which made it possible to assess the reliability of the data obtained and make reasonable conclusions. In particular, the simplex method was used for the technical and economic assessment and forecasting of electricity consumption, which optimizes the distribution of resources and allows for more efficient management of electricity consumption. RESULTS. As a result of the analysis, clear and reasonable recommendations were developed for the transition of household consumers to a differentiated tariff system. These recommendations are aimed at reducing the load on power transformers, which is an important step towards improving the reliability and sustainability of electricity supply. The introduction of differentiated tariffs will not only optimize electricity consumption, but also increase consumer awareness of how their actions affect the overall load on the energy system. This, in turn, can contribute to a more rational and economical use of electricity, which is an important aspect in the conditions of the modern world, where resources are becoming increasingly limited. CONCLUSION. The introduction of a differentiated tariff system for payment for electricity is an important step towards creating a more efficient and sustainable energy system, which will certainly benefit both consumers and energy companies.*

© Бобожанов М.К., Попкова О.С., Очилов Ю.О., Имомов Д.Д.

Keywords: *differentiated tariffs; electric load schedule; dynamic tariffing; energy saving; consumer costs; load optimization; peak loads; minimum loads; tariff policy; economic efficiency; energy distribution; load schedule alignment.*

For citation: Bobojanov M.K., Popkova O.S., Ochilov Y.O., Imomov D.D. Development of a method for applying a system of differentiated tariffs based on dynamic modeling. *KAZAN STATE POWER ENGINEERING UNIVERSITY BULLETIN*. 2025. T. 17. No. 3 (67). P. 3-17.

Введение (*Introduction)*

В настоящее время одной из ключевых задач является экономия и рациональное использование энергетических ресурсов. В условиях современного глобального энергетического рынка вопрос эффективного использования энергии становится актуальным не только с точки зрения экономики, но и экологии. Важными аспектами развития энергетической системы являются рациональное использование электроэнергии, внедрение эффективного контроля за её потреблением и оптимизация нагрузок на электрическую сеть. В этом контексте особенно полезной оказывается использование системы дифференцированных тарифов, которая предполагает установление различных цен на электроэнергию в зависимости от времени суток. Это позволяет более эффективно распределять ресурсы и стимулировать потребителей к экономии энергии в определённые часы [1, 2].

Учитывая важность и особенности тарифной политики в энергетическом секторе, ведущие научные учреждения и университеты по всему миру занимаются исследованиями, направленными на разработку методов учета и планирования потребления электроэнергии. В частности, такие научные организации, как Технический университет Дрездена в Германии, Калифорнийский технологический институт в США, Токийский технологический институт в Японии, Университет Куинс в Канаде и Новосибирский государственный технический университет в России, проводят углубленные исследования, посвященные экономической эффективности и потенциалу динамического тарифного регулирования. Эти исследования сосредоточены на поиске оптимального баланса между спросом и предложением в сфере энергетики [1, 2].

В работах таких ученых, как К.С. Мокрова, Э.В. Любимова, С.И. Жержерунов и других, акцентируется внимание на возможности уменьшения излишних расходов в часы максимальной нагрузки. Этого можно достичь за счет перераспределения потребления электроэнергии между дневными и ночными часами, что, в свою очередь, способствует поддержанию энергобаланса в энергетической системе. Данный подход, который основывается на модели, разработанной с использованием дифференцированных тарифов, имеет важное значение для обеспечения энергетического баланса и повышения экономической эффективности [3, 4].

В исследованиях, проведённых такими учеными, как профессора В.В. Михайлов, Б.Ж. Бакер, М. Паукерт и Н.В. Гусева, были обоснованы научные подходы, касающиеся формирования поведенческих моделей потребителей [3]. Эти модели разрабатываются на основе анализа изменений тарифов на электроэнергию, а также с целью стимулирования потребления энергии в часы, когда нагрузка на сеть минимальна. Важным аспектом данных исследований стали практические эксперименты, которые были проведены в таких известных университетах, как Оксфорд, Беркли и Мумбаи. Результаты этих экспериментов показали, что тарифная политика, которая ориентирована на различные типы и режимы использования электроэнергии, может оказывать положительное влияние на потребление электроэнергии потребителями [1, 5].

В последние годы в Узбекистане также наблюдается активное внимание к вопросам совершенствования тарифной политики и экономии электроэнергии. Исследуются различные аспекты потребления электроэнергии с учётом временных зон, что позволяет более точно учитывать пики и спады нагрузки. В научных трудах академиков Р.А. Захидов, Т.Х. Носирова и К.Р. Аллаева и профессора Х. Каримова, рассматриваются вопросы рационального использования электроэнергии. Ученые акцентируют внимание на необходимости регулирования потребления электроэнергии потребителями, что, в свою очередь, способствует снижению общей нагрузки на электрические сети. Таким образом, можно сделать вывод, что исследования, проводимые как в международных, так и в отечественных научных институтах, играют важную роль в формировании эффективной тарифной политики. Это, в свою очередь, не только улучшает экономические показатели, но и способствует более рациональному использованию ресурсов. Уделяя внимание этим

вопросам, можно достичь значительных успехов в области энергосбережения и оптимизации потребления электроэнергии [1, 6].

Доктор технических наук К.Ш. Кадыров из Института проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан более подробно изучил вопросы внедрения дифференцированных тарифов в электроэнергетическую систему страны. Он акцентировал внимание на важности повышения энергоэффективности потребителей, что можно достичь через использование тарифов, зависящих от времени суток. В своей работе Кадыров также исследовал, как улучшить взаимодействие между поставщиками электроэнергии и потребителями. В рамках исследования были проведены технико-экономические обоснования для внедрения временно-дифференцированных тарифов, направленных на рациональное использование электроэнергии, а также проанализировано, как такие тарифы могут повлиять на энергетическую эффективность потребителей [7-9].

В рамках поставленных задач было проведено исследование возможностей оптимизации графиков нагрузки и их регулирования в системе электроснабжения с использованием зонных тарифов на промышленных предприятиях. Это имеет как научное, так и практическое значение. Однако анализ существующих исследований показывает, что в республике отсутствует комплексное изучение суточного потребления электроэнергии, особенно среди бытовых потребителей. В этой области требуется углубленный анализ динамики различий между дневным и ночным потреблением, а также исследование механизмов их оптимизации и возможностей перераспределения нагрузок на основе тарифов. Это направление рассматривается как важный резерв для повышения энергоэффективности [1, 6-9].

Дифференцированные тарифы представляют собой ключевой инструмент для управления потреблением электроэнергии. Они способствуют рациональному распределению нагрузок, помогают снизить риски, возникающие в периоды пикового потребления, и, что наиболее важно, повышают общую эффективность энергетической системы. Внедрение такого механизма в контексте электроэнергетической системы Узбекистана, а также глубокий анализ его экономических и технологических основ, остаются важными научными задачами. Эти исследования играют значительную роль в создании устойчивой энергетической среды в стране в ближайшие годы [5, 10].

В современном мире, характеризующемся растущим потреблением электроэнергии и усиливающимся фокусом на экологической устойчивости, дифференцированные тарифы приобретают все большую актуальность. Их основная цель – оптимизация энергопотребления, предотвращение пиковых нагрузок, которые часто приводят к перебоям в энергоснабжении и значительным финансовым потерям, а также повышение экономической эффективности для как потребителей, так и энергосистемы в целом. Суть этой системы заключается в установлении переменной цены на электроэнергию в зависимости от времени суток, дня недели, или даже сезона года. Это стимулирует потребителей к более рациональному планированию энергопотребления, перераспределяя спрос на менее загруженные периоды. Данная статья посвящена всестороннему анализу влияния дифференцированных тарифов на характеристики электрической нагрузки, с особым вниманием к бытовым потребителям [5, 11].

Внедрение таких тарифов тесно переплетено с развитием экологически чистых источников энергии (ВИЭ). Поощряя сдвиг потребления электроэнергии в периоды, когда работает больше солнечных электростанций или ветрогенераторов, дифференцированные тарифы способствуют более эффективному использованию ВИЭ и уменьшают зависимость от традиционных, загрязняющих окружающую среду, источников энергии. Более детально рассмотрим механизмы воздействия. Дифференцированные тарифы, предполагающие более низкую стоимость электроэнергии в ночные часы или периоды низкого спроса, мотивируют потребителей к переносу энергоемких операций (например, стирки, работы с энергозатратным оборудованием) на эти временные отрезки. Это, в свою очередь, снижает пиковые нагрузки на электрические сети, уменьшает износ оборудования и позволяет избежать дорогостоящего ввода новых мощностей для покрытия пиковых потребностей. Одновременно, более высокая цена электроэнергии в часы пик стимулирует потребителей к более экономному использованию энергии в эти периоды [5, 11, 12].

Дифференцированные тарифы представляют собой не только экономически эффективный, но и экологически ответственный подход к управлению энергопотреблением. Цель данной работы – совершенствование методик прогнозирования потребления электроэнергии и разработка более гибких и адаптивных тарифных схем, учитывающих индивидуальные потребности и особенности различных групп потребителей.

Материалы и методы *(Materials and methods)*

В рамках исследования, результаты которого представлены в данной работе, были использованы методы статистического анализа, математического моделирования и прогнозирования. Тщательно анализированы данные о потреблении электроэнергии, учитывая разнообразные факторы, такие как время суток, день недели, сезон года, климатические условия, а также специфические характеристики различных групп потребителей (например, различия в энергопотреблении между городскими и сельскими жителями). Модель учитывала вероятностные процессы, например, случайные колебания спроса, вызванные непредвиденными обстоятельствами. Было проведено сравнение различных сценариев развития событий при различных режимах тарификации, что позволило оценить эффективность внедрения дифференцированных тарифов. Результаты исследования показали, что внедрение дифференцированных тарифов существенно изменяет профиль нагрузки электрической сети, сглаживая пики и снижая среднюю интенсивность потребления в часы максимальной нагрузки. Это снижает вероятность аварийных отключений и позволяет более эффективно использовать имеющиеся мощности. Более того, наши расчеты показали заметное снижение финансовых затрат для конечных потребителей при условии рационального планирования энергопотребления. Важно подчеркнуть, что результаты моделирования демонстрируют существенный потенциал снижения выбросов парниковых газов благодаря более широкому использованию ВИЭ, что является критическим фактором в борьбе с изменением климата [5, 13, 14].

Потребление электроэнергии от времени можно выразить следующим образом:

$$P(t) = P_{\text{мин}} + (P_{\text{мах}} - P_{\text{мин}})\, f(T), \tag{1}$$

где $P_{\text{мин}}$ – минимальная нагрузка, $P_{\text{мах}}$ – максимальная нагрузка, $f(T)$ – динамический коэффициент тарифа, зависящий от времени.

На рисунке 1 представлен график электрических нагрузок, построенный с использованием данных об энергопотреблении бытовых потребителей в течении года [3].

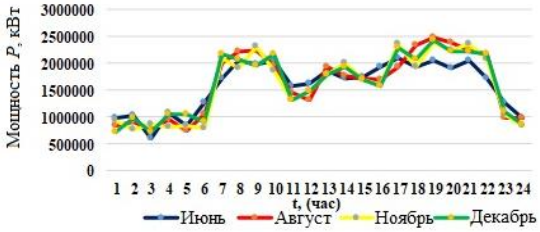


Рис. 1. График электрических нагрузок на основе показателей потребления бытовых потребителей (по городу Карши)

Fig. 1. Graph of electrical load based on household consumption (for the city of Karshi)

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Общие затраты потребителей в зависимости от дифференцированных тарифов на конечного потребителя можно рассчитать по уравнению

$$C = \int_{t_1}^{t_2} P(t) * T(t)\, dt\,, \tag{2}$$

где $T(t)$ – тарифная функция, зависящая от времени; t_1, t_2 – анализируемые временные интервалы.

На рисунке 2 приведена диаграмма потребления электроэнергии, согласно проведенным анализам в различных регионах Узбекистана.

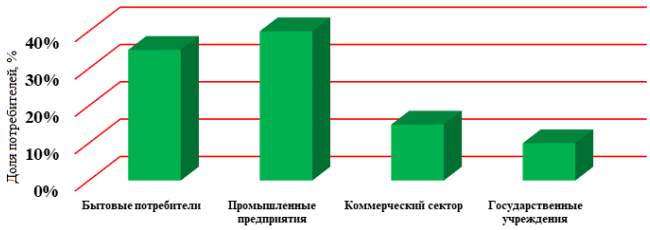


Рис. 2. Показатели доли потребителей в общем потреблении

Fig. 2. Indicators of the share of consumers in total consumption

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Анализ имеющейся информации указывает на пиковые значения потребления электроэнергии в утренний (7:00-10:00) и вечерний (18:00-22:00) периоды. Во время этих интервалов наибольшего спроса, повышенная нагрузка оказывает существенное влияние на функционирование электросети [15, 16].

Результаты исследования подтверждают, что использование системы дифференцированных тарифов позволяет добиться более равномерного распределения нагрузки на электросети в течение суток.

График, представленный ниже (рис. 3), иллюстрирует данные о потреблении электроэнергии домохозяйствами в Узбекистане за 2021 и 2022 годы. Этот график наглядно демонстрирует процентное увеличение годового потребления электроэнергии среди населения.

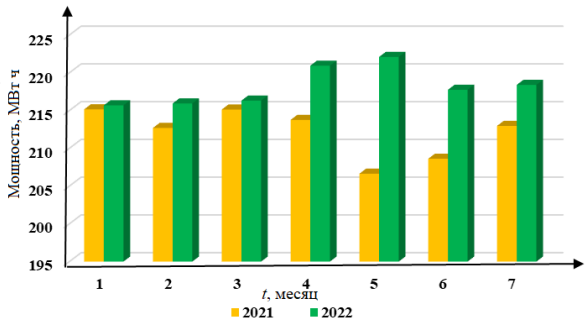


Рис. 3. Динамика роста показателей потребления бытовых потребителей в 2021-2022 годах (по Узбекистану)

Fig. 3. Dynamics of growth in household consumption in 2021-2022 (in Uzbekistan)

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

В условиях стремительного развития Узбекистана и постоянно растущего потребления электроэнергии, достигающего ежегодного прироста в 5-7%, актуальность внедрения дифференцированных тарифов на электроэнергию приобретает первостепенное значение. Эта проблема не является узкоспецифичной для Узбекистана, она характерна для многих развивающихся стран, стремящихся к устойчивому энергетическому развитию. Существующая система тарификации, основанная на едином, неизменном показателе стоимости киловатт-часа, не стимулирует рациональное потребление электроэнергии и приводит к серьезным негативным последствиям. Неравномерность потребления электроэнергии в течение суток и в течение года – одна из главных причин перегрузок энергосистемы. Пиковые нагрузки, возникающие в часы максимального спроса (как правило, утренние и вечерние часы), создают колоссальные нагрузки на электросети, что приводит к значительным потерям энергии. Эти потери, по оценкам экспертов, достигают внушительных 12-15%, что не только влечет за собой экономические убытки, но и создает риски для стабильности и надежности энергоснабжения всей страны. Представьте себе последствия масштабного отключения электроэнергии – остановка предприятий, транспортный коллапс, перебои в работе социальных учреждений, и все это с огромным экономическим и социальным ущербом. Поэтому поиск решений, направленных на оптимизацию энергопотребления, становится критически важным. Дифференцированные тарифы, практикуемые во многих странах мира, предлагают эффективное решение этой проблемы. Суть метода заключается в изменении стоимости электроэнергии в зависимости от времени суток или дня недели. В часы пиковой нагрузки, когда потребление максимально, цена на электроэнергию повышается, а в ночное время или в выходные дни, когда спрос снижается, цена, соответственно, снижается. Такой подход стимулирует потребителей переносить энергоемкие процессы на менее загруженные периоды, тем самым сглаживая пики нагрузки и уменьшая перегрузки энергосистемы [16, 17].

Международный опыт убедительно демонстрирует эффективность данного подхода. Внедрение подобных систем в других странах позволило снизить пиковые нагрузки на 10-20%, а потери в трансформаторных подстанциях – на 5-8%. Это, в свою очередь, существенно повышает общую энергоэффективность страны, уменьшая непроизводительные потери и экономя значительные финансовые ресурсы. Не стоит забывать и об экологическом аспекте: снижение потребления электроэнергии автоматически уменьшает выбросы парниковых газов, что вносит вклад в борьбу с изменением климата. Для успешного внедрения системы дифференцированных тарифов необходимо провести тщательный анализ и моделирование. Использование современных методов динамической оптимизации позволяет спрогнозировать реакцию потребителей на

изменение тарифов, оценить потенциальную экономию энергии и с высокой точностью разработать оптимальную схему тарификации. Такие модели позволяют не только предсказать эффект от внедрения новых тарифов, но и корректировать их в процессе, учитывая реальную динамику потребления. Потенциал экономии энергии при использовании таких методов, по оценкам специалистов, может достигать 15-25% [17, 18].

Важно отметить, что внедрение дифференцированных тарифов – это комплексная задача, требующая не только технической реализации, но и широкой информационной кампании среди населения. Необходимо разъяснить потребителям преимущества новой системы, научить их рационально использовать электроэнергию и адаптироваться к изменяющимся тарифам. Это позволит минимизировать социальные последствия перехода на новую систему тарификации и обеспечить ее эффективную работу. В заключение можно сказать, что переход к дифференцированным тарифам на электроэнергию является неотъемлемой частью стратегии устойчивого развития Узбекистана. Этот необходимый шаг позволит оптимизировать работу энергосистемы, снизить потери энергии, повысить надежность энергоснабжения и, в конечном итоге, создать более благоприятные условия для экономического роста и повышения уровня жизни населения. Только комплексный подход, включающий в себя модернизацию электросетей, внедрение современных технологий и информирование населения, может обеспечить успешную реализацию этой стратегически важной задачи.

В ходе анализа перехода бытовых потребителей на дифференцированные тарифы, которые зависят от времени суток, а также с целью улучшения работы энергетических систем, была создана новая система регулирования потребления энергии и распределения нагрузок. Этот новый подход предоставляет возможность потребителям существенно экономить средства, благодаря эффективному использованию тарифов, которые варьируются в зависимости от времени суток. Кроме того, он способствует оптимальному распределению нагрузок в электрических сетях и повышает эффективность работы трансформаторов, отвечающих за подачу электроэнергии.

Предложенная методика внедрения системы дифференцированных тарифов и отслеживания расходов на потребление электроэнергии улучшается посредством реализации этапов, опирающихся на следующие математические зависимости [15].

$$A = W \cdot K\,. \tag{3}$$

$$A = W\begin{cases} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \cdot K \\ W_4 \\ W_5 \end{cases}\begin{cases} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \\ K_4 \\ K_5 \end{cases} >> \begin{cases} W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 \\ K = \dfrac{K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5}{5} \end{cases},$$

где A – общие затраты на потребляемую электроэнергию (руб); W – общий объем потребляемой электроэнергии (кВт·ч); K – средний тариф за 1 кВт·ч электроэнергии (руб).

На основе определенных данных были введены соответствующие обозначения и дополнительные функции [9-10]:

$$K_1 = 300\,;\ K_2 = 600\,;\ K_3 = 450\,;\ K_4 = 600\,;\ K_5 = 300\,.$$

$$K_1 = K - \frac{K}{3}\,;\ K_2 = K + \frac{K}{3}\,;\ K_3 = K\,;\ K_4 = K + \frac{K}{3}\,;\ K_5 = K - \frac{K}{3}\,;$$

$$A' = W_1A_1 + W_2A_2 + W_3A_3 \cdot W_4A_4 \cdot W_5A_5\,;$$

$$A' = W_1\left(K - \frac{K}{3}\right) + W_2\left(K + \frac{K}{3}\right) + W_3K \cdot W_4\left(K + \frac{K}{3}\right) \cdot W_5\left(K - \frac{K}{3}\right);$$

$$A' = \frac{2K}{3}\left(W_1 + W_5\right) + \frac{4K}{3}\left(W_2 + W_4\right) + W_3K\,.$$

При применении системы дифференцированных тарифов формула для расчета общих затрат на электроэнергию с учетом среднего тарифа за 1 кВт·ч и показателей потребления в различные периоды суток может быть расчитана:

$$A' = \frac{2K}{3}\left[W_1 + W_5 + 2\left(W_2 + W_4\right) + \frac{3}{2}W_3\right]. \tag{4}$$

Методика включает механизмы, позволяющие анализировать и отслеживать динамику электрических нагрузок. С помощью этих механизмов моделируется изменение

электрических нагрузок под воздействием дифференцированных тарифов, а также совершенствуется возможность контроля энергопотребления в режиме реального времени.

Формулы и доказательства методики расчета потребленной электроэнергии представлены следующим образом [15, 16]:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5$$

$$W - \Delta x = 1{,}14W_1 + 0{,}86W_2 + W_3 + 0{,}86W_4 + 1{,}14W_5$$

$$W - \Delta x = 1{,}14\left(W_1 + W_5\right) + 0{,}86\left(W_2 + W_4\right) + W_3$$

$$\left[Z\right] = 1{,}14\left(W_1 + W_5\right) + 0{,}86\left(W_2 + W_4\right) + W_3$$

$$Z = W - \Delta x\ ;\ \Delta x = W - Z\ ;$$

$$\Delta x = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 - 1{,}14W_1 - 0{,}86W_2 - W_3 - 0{,}86W_4 - 1{,}14W_5\ .$$

здесь: Z – величина показателей потребления в предложенные периоды; Δx – адаптивный коэффициент, зависящий от процентного изменения показателей потребления.

Количество электроэнергии (кВт·ч), которое может быть сэкономлено при введении тарифной системы и изменении показателей потребления на произвольное значение, определяется выражением [15, 16]:

$$\Delta x = 0{,}14\left(W_1 + W_2 - W_4 - W_5\right);$$

$$\beta = 0{,}14\ , \qquad (5)$$

здесь β – коэффициент рационального использования системы при внедрении дифференцированной тарифной системы (%).

Разработанная методика управления энергопотреблением претерпела значительные изменения, получив существенное улучшение благодаря внедрению экономически выгодных механизмов, стимулирующих потребителей к рациональному использованию электроэнергии. Ключевым элементом этой модернизации стало внедрение дифференцированных тарифов на электроэнергию, направленных на снижение нагрузки в пиковые часы и увеличение потребления в ночное время, когда спрос на электроэнергию минимален. Это достигается за счет существенного снижения стоимости электроэнергии в ночные часы, что создает мощный стимул для потребителей переносить энергоемкие процессы на менее загруженное время суток. Реализация данной стратегии предполагает активное использование бытовой техники в ночное время. Потребители, переключая работу стиральных машин, посудомоечных машин, а также других энергоемких приборов на ночные часы, получают значительную экономию средств, а энергосистема получает более равномерную нагрузку, избегая опасных перегрузок, которые могут привести к авариям и сбоям в электроснабжении. Эта система не просто экономит деньги потребителям, но и повышает надежность и стабильность работы всей энергосистемы в целом [17, 18].

Более того, методика была усилена за счет интеграции интеллектуальных алгоритмов, способных анализировать данные о потреблении электроэнергии в реальном времени. Эти алгоритмы позволяют не только выявлять пиковые нагрузки и периоды низкого потребления, но и предсказывать потенциальные перегрузки, позволяя оперативно принимать меры по их предотвращению. Благодаря использованию таких алгоритмов, система управления энергопотреблением становится проактивной, а не просто реактивной, что значительно повышает ее эффективность. В процессе исследования и усовершенствования методики был проведен углубленный анализ данных, подтверждающий эффективность предложенного подхода [17, 18].

Результаты и обсуждение *(Results and discussions)*

Система дифференцированных тарифов способствует сглаживанию графика электрической нагрузки. Гибкость тарифной стратегии направляет потребителей на использование электроэнергии в оптимальные временные интервалы. Это снижает общую нагрузку и предотвращает работу электрических сетей в условиях перегрузки. В результате распределение мощности оптимизируется, потери сокращаются, а эффективность использования электроэнергии возрастает. Такой подход обеспечивает стабильное энергоснабжение как для промышленности, так и для бытовых хозяйств [18].

Показатели потребления электроэнергии были проанализированы с использованием метода наименьших квадратов, проведён математический анализ, а также разработана динамическая тарифная модель.

На рисунках 4 и 5 приведены графики электрической нагрузки газифицированных и негазифицированных районов до внедрения дифференцированных тарифов.

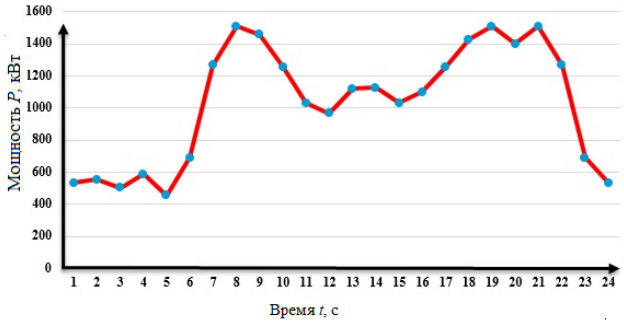


Рис. 4. График электрической нагрузки газифицированных районов (предварительный)

Fig. 4. Graph of electrical load in gasified areas (preliminary)

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

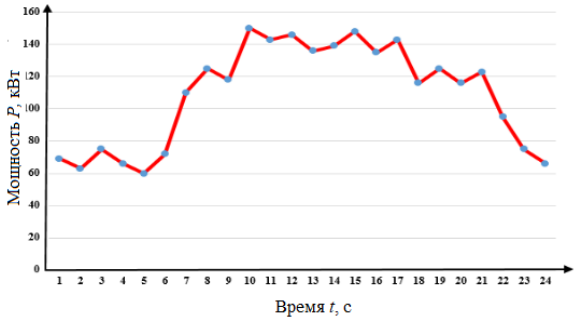


Рис. 5. График электрической нагрузки негазифицированных районов (предварительный)

Fig. 5. Electricity load schedule for non-gasified areas (preliminary)

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Ниже приведены исходные формулы для создания динамической тарифной модели. Зависимость будем искать в следующем виде $y = ax^2 + bx + c$.

$$\frac{dS}{db} = 2\sum_{i=1}^{n}\left(ax_i + b - y_i\right)x_i = 2\left[a\sum_{i=1}^{n}x_i^2 + b\sum_{i=1}^{n}x_i - \sum_{i=1}^{n}x_i y_i\right];$$

$$\frac{dS}{db} = 2\sum_{i=1}^{n}\left(ax_i + b - y_i\right) = 2\left[a\sum_{i=1}^{n}x_i + bn - \sum_{i=1}^{n}y_i\right];$$

$$\frac{dS}{dc} = 2\sum_{i=1}^{n}\left(ax_i^2 + bx_i + c - y_i\right) = 2\left[a\sum_{i=1}^{n}x_i^2 + b\sum_{i=1}^{n}x_i + cn - \sum_{i=1}^{n}y_i\right].$$

Приравняв эти выражения к нулю, была получена система линейных уравнений относительно a, b и c в следующем виде:

$$\begin{cases} a\sum x_i^4 + b\sum x_i^3 + c\sum x_i^2 = \sum x_i^2 y_i \\ a\sum x_i^3 + b\sum x_i^2 + c\sum x_i = \sum x_i y_i \\ a\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + b\sum x_i + cn = \sum y_i \end{cases};$$

$$\begin{cases} a\sum_{i=1}^{6} T_i^4 + b\sum_{i=1}^{6} T_i^3 + c\sum_{i=1}^{6} T_i^2 = \sum_{i=1}^{6} T_i^2 + (P_D)_i \\ a\sum_{i=1}^{6} T_i^3 + b\sum_{i=1}^{6} T_i^2 + c\sum_{i=1}^{6} T_i = \sum_{i=1}^{6} T_i + (P_D)_i \\ a\sum_{i=1}^{6} T_i + 6\sum_{i=1}^{6} T_i + 6c = \sum_{i=1}^{6} (P_D)_i \end{cases}.$$

Значения квадратичной эмпирической функции задаем в общем виде:

$$P = \frac{\Delta W}{T} = aT^2 + bT + c.$$

Для построения эмпирической функции используется следующая таблица 1.

Таблица 1
Table 1

Построение квадратичной эмпирической функции мощности P
Construction of a quadratic empirical power function P

i	T_i	$(P_D)_i$	T_i^2	T_i^3	T_i^4	$(P_D)_i T_i$	$(P_D)_i T_i^2$
1	2	91	4	8	16	182	364
2	3	101	9	27	81	303	909
3	5	88	25	125	625	440	2200
4	6	117	36	216	1296	702	4212
5	8	115	64	512	4096	920	7360
x=6	24	512	138	888	6114	2547	15045

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Из этих данных формируется следующая система уравнений:

$$\begin{cases} 6114a + 888b + 138c = 15045 \\ 888a + 138b + 24c = 2547 \\ 128a + 22b + 6c = 512 \end{cases}.$$

Решив систему, были получены значения: a=-0,0383, b=0,4658 и c=0,1603 искомая зависимость между T и P выражается следующим образом:

$$P = \frac{\Delta W}{T} = -0,0383T^2 + 0,4658T + 0,1603.$$

Для создания динамической тарифной модели для функции P при линейной зависимости используем

$$\frac{dS}{da} = 2\sum_{i=1}^{n} (ax_i + b - y_i)x_i = 2\left[a\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + b\sum_{i=1}^{n} x_i - \sum_{i=1}^{n} x_i y_i\right];$$

$$\frac{dS}{db} = 2\sum_{i=1}^{n} (ax_i + b - y_i)x_i = 2\left[a\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + bn - \sum_{i=1}^{n} y_i\right].$$

Приравняв эти выражения к нулю, получим систему линейных уравнений относительно a и b:

$$a\begin{cases} a\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + b\sum_{i=1}^{n} x_i = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i \\ a\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + bn = \sum_{i=1}^{n} y_i \end{cases};$$

$$\begin{cases} a\sum_{i=1}^{6} T_i^2 + b\sum_{i=1}^{6} T_i = \sum_{i=1}^{6} T_i (P_D)_i \\ a\sum_{i=1}^{6} T_i + 6b = \sum_{i=1}^{6} (P_D)_i \end{cases}.$$

Таблица 2
Table 2

Построение линейной эмпирической функции мощности P
Construction of a linear empirical power function P

i	T_i	$(P_D)_i$	T_i^2	$(P_D)_i T_i$
1	2	66	4	132
2	3	116	9	348
3	5	116	25	580
4	6	66	36	396
5	8	143	64	1144
x=6	24	507	138	2600

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Из данных таблицы 2 формируется следующая система уравнений:

$$\begin{cases} 138a + 24b = 2600 \\ 24a + 6b = 507 \end{cases}.$$

Решив систему, были получены значения: a=13,619 и b=30,024. В этом случае искомая зависимость между T и P примерно выражается следующим образом:

$$P = \frac{\Delta W}{T} = 13,619T + 30,024.$$

На рисунке 6 представлен график зависимости общего потребленной активной энергии от времени и эмпирических функций, построенных по этим данным для линейной и квадратичной зависимостей.

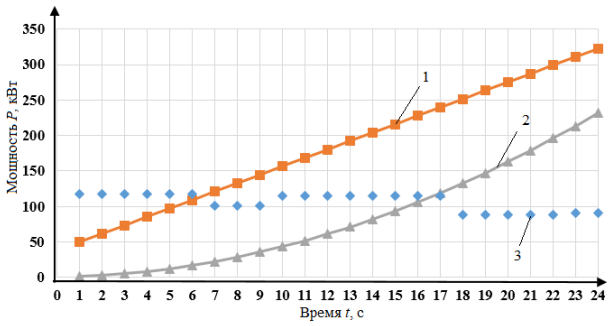


Рис. 6. График зависимости активной мощности от времени и соответствующих эмпирических функций (1 – линейная функция, 2 – квадратичная функция, 3 – нагрузка,)

Fig. 6. Graph of active power dependence points over time and corresponding empirical functions (1 – linear function, 2 – quadratic function 3 – load)

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

В итоге, наряду с созданием динамической модели, также совершенствуются подходы к мониторингу и предсказанию изменений в графиках потребления электроэнергии [17].

После того как потребление электроэнергии среди населения увеличилось на 14%, был составлен график электрической нагрузки, отражающий общее потребление однофазными пользователями.

На рисунках 7 и 8 представлены графики электрической нагрузки, построенные на основе значений потреблённой электроэнергии после перехода потребителей на дифференцированный тариф для нагифицированных и негазифицированных районов.

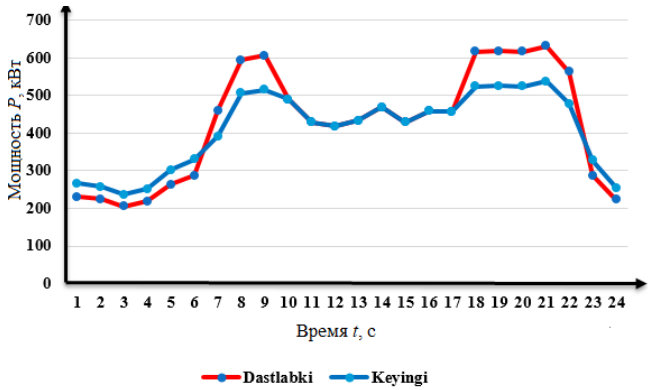


Рис. 7. График электрических нагрузок газифицированных районов

Fig. 7. Electricity load chart for gasified areas

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

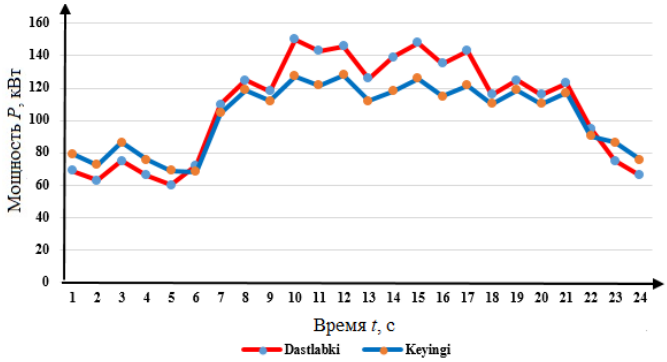


Рис. 8. График электрических нагрузок негазифицированных районов

Fig. 8. Electricity load chart for non-gasified areas

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Результаты расчетов показали значительное снижение потребления электроэнергии в часы пиковой нагрузки, сопровождающееся заметным увеличением потребления в ночные часы с низкими тарифами. Это подтверждается данными из источников [16], где детально описаны изменения в графике потребления электроэнергии после внедрения дифференцированной системы тарифов. Такое изменение графика нагрузки существенно снижает риск перегрузок в энергосистеме, увеличивая её надежность и общую эффективность. Это положительно сказывается на надежности электроснабжения для всех потребителей. Экономический эффект особенно заметен для крупных промышленных предприятий и предприятий сферы услуг, которые могут значительно сократить свои расходы на электроэнергию, грамотно планируя свою деятельность и перенося энергоемкие операции на более дешевые тарифные зоны.

Внедрение интеллектуальных систем управления и дифференцированных тарифов представляет собой комплексный подход к управлению энергопотреблением, сочетающий экономическую эффективность для потребителей и повышение надежности энергосистемы в целом. Таким образом, созданная методика не только обеспечивает экономию средств, но и способствует устойчивому развитию энергетического сектора, предотвращая перегрузки и обеспечивая стабильное энергоснабжение. Более того, это стимулирует переход к более рациональному и экологичному потреблению энергоресурсов.

***Выводы** (Conclusions)*

Внедрение дифференцированных тарифов приводит к выравниванию графиков электропотребления: пиковые нагрузки снижаются за счет переноса потребления на периоды с более низкими ценами. Это способствует более равномерному распределению электроэнергии в сети, уменьшает ее перегруженность и, как следствие, повышает эффективность всей энергосистемы.

Разные тарифные ставки открывают возможности для предприятий, сферы услуг и бытовых потребителей более гибко управлять своим энергопотреблением. Перенос активности потребления на часы с льготными тарифами позволяет существенно сократить расходы на электроэнергию, делая такой подход экономически целесообразным.

Использование дифференцированного подхода к тарификации позволяет оптимизировать распределение электроэнергии во времени, избегая перегрузок в

энергосистеме. Это приводит к повышению надежности и стабильности работы электрической сети, бережному использованию энергетических ресурсов и формированию у потребителей более рационального подхода к использованию электроэнергии.

Литература

1. Аллаев К. Р. Энергетика мира и Узбекистана //Аналитический обзор. ГАК «Узбекэнерго», НХК «Узбекнефтегаз». ТГТУ им. АБУ Райхана Беруни. Ташкент. – 2007.

2. Bobojanov, M., Ochilov, Y. (2023). A complete analysis of the module program to assess the reduction of electricity emissions in distribution transformers with extensive use of the differential tariff system. Theoretical Aspects in the Formation of Pedagogical Sciences, 2(18), 152–157.

3. Колибаба В. И., Мокрова К. С. Методика формирования дифференцированных сетевых тарифов на электроэнергию в зависимости от уровня надёжности электроснабжения // «Вестник Ивановского государственного энергетического университета», 2017, № 1, с. 69–76.

4. Любимова, Е. В. Дифференциация тарифов на электроэнергию // «ЭКО. Экономика и организация промышленного производства», 2009, № 8, с. 64–76.

5. Михайлов В.В. Тарифы и режимы электропотребления - М.: «Энергия»1974. 128 с.

6. Ю. О. Очилов, М. К. Бобожанов (2023) Analysis of Opportunities to Reduce Energy Waste in Distribution Transformers By Applying Time-Differentiated Tariffs// International Journal of AdvancedResearch in Science, Engineering and Technology, Vol. 10, Issue 10, стр. 21118–21123.

7. Muratov, Kh. Possibilities of applying time-classified tariffs in “smoothing” the loading graph of the electric energy system / Kh. Muratov, K. Kadirov, A. Kushev // E3S Web of Conferences : 4th International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering (ICECAE 2023), Tashkent, 12–14 октября 2023 года. Vol. 434. — Tashkent: EDP Sciences, 2023. — P. 01008.

8. Muratov K., Kodirov K., Kodirov D. (2020) «Mechanisms of electrical energy management on different tariffs of industrial enterprises» // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 883 (1): 012163. doi: 10.1088/1757-899X/883/1/012163.

9. Muratov K., Isakov A., Kadirov K., Kushev A. (2023) «Investments reduction on developing the generating capacity with differentiated electricity tariffs». E3S Web of Conferences 402: 05019. doi: 10.1051/e3sconf/202340205019.

10. Makhmutkhanov, S., Ochilov, Y., Nurov, H., Kurbonazarov, S. (2023) Increasing the environmental cleanness of industrial enterprises. In AIP Conference Proceedings . Vol. 3152, No. 1.

11. Fayziyev, M., Ochilov, Y., Nimatov, K., Mustayev, R. Analysis of payment priority for electricity consumed in industrial enterprises on the base of classified tariffs. In E3S Web of Conferences (Vol. 384, p. 01039).

12. М.К. Бобожанов, Ю.О. Очилов Применение дифференцированных тарифов на электроэнергию для жилых домов населения// Сборник конференции «Проблемы энергосбережения и ресурсосбережения», Ташкент, 2022, стр. 256-260.

13. М.М. Файзиев, М.К. Бободжанов, Ю.О. Очилов Анализ эффективности оплаты за электроэнергию на основе дифференцированных тарифов// Сборник конференции «Инновационные технологии», Карши, 2025, стр. 7-10 .

14. M. Bobojanov Development and Research of Two Speed Motor with Pole-Changing Winding , AIP Conference Proceedings 2552, 050034, (2023). doi: 10.1063/5.0114077.

15. M.K.Bobojanov, R.Ch.Karimov, T.H.Qosimov, S.D.Zh.Dzhuraev. Development and experimental study of circuits of contactless device for automation of compensation of reactive power of capacitor batteries. E3S Web of Conferences, 289, 07012, (2021)

16. Comparison of parameters of heteroepitaxial structures / A. K. Tashatov, R. X. Beytullayeva, T. T. Ungbayevich [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Krasnoyarsk, Russia, 31 июля 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 919. – Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 22006. – DOI 10.1088/1757-899X/919/2/022006. – EDN ZPNEKD.

17. Бобожанов М. К., Очилов Ю. О. Разработка и обоснование методики дифференцированного тарифообразования, направленного на повышение энергоэффективности бытовых потребителей // Республиканская научно-практическая конференция «Проблемы энергетики и энергосбережения». – 13–14 мая 2025 года. – С. 330–333.

18. Файзиев М., Бобожанов М., Очилов Ю. Анализ эффективности оплаты за электроэнергию на основе дифференцированных тарифов // Инновационные технологии. – 2022. – №47. – С. 7–10.

Авторы публикации

Бобожанов Махсуд Каландарович – д-р техн. наук, профессор кафедры «Электроснабжение» Ташкентского государственного технического университета, г. Ташкент, Узбекистан.

Попкова Оксана Сергеевна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» (АТПП) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ), г. Казань, Россия. *ORCID*: http://orcid.org/0000-0002-3007-6853. Email: oksiniy@mail.ru*

Очилов Юнус Очил угли – ассистент кафедры «Электроснабжение и интеллектуальные энергетические системы» Каршинского государственного технического университета, г. Карши, Узбекистан.

Имомов Даврбек Дониерович – заместитель директора АО «РЭС» Отделение города Ташкента филиала «Энергоавдо», соискатель Ташкентского государственного технического университета, г. Ташкент, Узбекистан.

References

1. Allaev K. R. Energy of the world and Uzbekistan // Analytical review. State Joint Stock Company "Uzbekenergo", National Holding Company "Uzbekneftegaz". TSTU named after ABU Raikhan Beruni. Tashkent. - 2007.

2. Bobojanov, M., Ochilov, Y. (2023). A complete analysis of the module program to assess the reduction of electricity emissions in distribution transformers with extensive use of the differential tariff system. Theoretical Aspects in the Formation of Pedagogical Sciences, 2(18), 152–157.

3. Kolibaba V. I., Mokrova K. S. Methodology for the formation of differentiated network tariffs for electricity depending on the level of reliability of power supply // "Bulletin of the Ivanovo State Power Engineering University", 2017, No. 1, pp. 69–76.

4. Lyubimova, E. V. Differentiation of Electricity Tariffs // “ECO. Economy and Organization of Industrial Production”, 2009, No. 8, pp. 64–76.

5. Mikhailov, V. V. Tariffs and Power Consumption Modes - Moscow: “Energy” 1974. 128 p.

6. Yu. O. Ochilov, M. K. Bobozhan (2023) Analysis of Opportunities to Reduce Energy Waste in Distribution Transformers By Applying Time-Differentiated Tariffs // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 10, Issue 10, pp. 21118–21123.

7. Muratov, Kh. Possibilities of applying time-classified tariffs in “smoothing” the loading graph of the electric energy system / Kh. Muratov, K. Kadirov, A. Kushev // E3S Web of Conferences: 4th International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering (ICECAE 2023), Tashkent, October 12–14, 2023. Vol. 434. - Tashkent: EDP Sciences, 2023. - P. 01008.

8. Muratov K., Kodirov K., Kodirov D. (2020) “Mechanisms of electrical energy management on different tariffs of industrial enterprises” // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 883 (1): 012163. doi: 10.1088/1757-899X/883/1/012163.

9. Muratov K., Isakov A., Kadirov K., Kushev A. (2023) “Investments reduction on developing the generating capacity with differentiated electricity tariffs.” E3S Web of Conferences 402: 05019. doi: 10.1051/e3sconf/202340205019.

10. Makhmutkhanov, S., Ochilov, Y., Nurov, H., Kurbonazarov, S. (2023) Increasing the environmental cleanliness of industrial enterprises. In AIP Conference Proceedings. Vol. 3152, No. 1.

11. Fayziyev, M., Ochilov, Y., Nimatov, K., Mustayev, R. Analysis of payment priority for electricity consumed in industrial enterprises on the base of classified tariffs. In E3S Web of Conferences (Vol. 384, p. 01039).

12. M.K. Bobojanov, Yu.O. Ochilov Application of differentiated electricity tariffs for residential buildings // Proceedings of the conference "Problems of energy and resource saving", Tashkent, 2022, pp. 256-260.

13. M.M. Fayziev, M.K. Bobojanov, Yu.O. Ochilov Analysis of the efficiency of payment for electricity based on differentiated tariffs // Proceedings of the conference "Innovative technologies", Karshi, 2025, pp. 7-10.

14. M. Bobojanov Development and Research of Two Speed Motor with Pole-Changing Winding , AIP Conference Proceedings 2552, 050034, (2023). doi: 10.1063/5.0114077.

15. M.K.Bobojanov, R.Ch.Karimov, T.H.Qosimov, S.D.Zh.Dzhuraev. Development and experimental study of circuits of contactless device for automation of compensation of reactive power of capacitor batteries. E3S Web of Conferences, 289, 07012, (2021)

16. Comparison of parameters of heteroepitaxial structures / A. K. Tashatov, R. X. Beytullayeva, T. T. Ungbayevich [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Krasnoyarsk, Russia, July 31, 2020 / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 919. – Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 22006. – DOI 10.1088/1757-899X/919/2/022006. – EDN ZPNEKD.

17. Bobozhan M. K., Ochilov Yu. O. Development and justification of the methodology of differentiated tariff formation aimed at improving the energy efficiency of household consumers // Republican scientific and practical conference "Problems of Energy and Energy Saving". – May 13-14, 2025. – P. 330–333.

18. Fayziev M., Bobozhan M., Ochilov Yu. Analysis of the efficiency of payment for electricity based on differentiated tariffs // Innovative technologies. – 2022. – No. 47. – P. 7–10.

Authors of the publication

Makhsud K. Bobojanov – Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan.

Oksana S. Popkova – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. *ORCID*: http://orcid.org/0000-0002-3007-6853. Email: oksiniy@mail.ru*

Yunus O. Ochilov – Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan.

Davrbek D. Imomov – Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan.

Шифр научной специальности: 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

Получено ***20.08.2025 г.***

Отредактировано ***01.09.2025 г.***

Принято ***15.09.2025 г.***