

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 (2022)

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/AFHU6838>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *д.т.н., профессор*
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD*
Омарова А.Р., *технический редактор*

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/JTDY1576>

***Ж. Б. Исабеков¹, Б. Б. Исабекова², А. Б. Жантлесова³,
У. К. Жалмагамбетова⁴**

^{1,2,4}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

³Казахский государственный университет им. С.Сейфуллина,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан

КОММЕРЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Подход, представленный в этой статье, определяет различные типы технических потерь в распределительной сети и связывает потери с процентной долей различных сегментов. Каждый участок распределительной сети затем подвергается статистической оценке, чтобы определить, соблюдается ли энергетический баланс для этого участка сети. Этот подход может выявить проблемы, и если она существует в электрической распределительной сети. Выявляя проблемные области предоставляющих услуг энергокомпаний, занимающиеся распределением электроэнергии, можно сэкономить доходы потребителей электроэнергии, путем уменьшения ценообразования на тариф электроэнергии.

Неэффективность использования электрической энергии в основном связана с потерями на низковольтных участках распределительной электрической сети и подразделяется на технические и нетехнические потери. Технические потери, могут быть рассчитаны и использованы для оценки общих потерь в распределительной сети. Используя оценочное значение технических потерь на участке электрической сети и значение общей отпускаемой электроэнергии, поставленной на этот участок распределительной сети, можно определить нетехнические потери в распределительной сети. Выявление проблем, вызывающих нетехнические потери, создает возможности для повышения эффективности использования электроэнергии в электрической распределительной сети.

Ключевые слова: системы электроснабжения, потери электроэнергии, электрическая энергия, нагрузка системы, электрические сети.

Введение

Увеличение стоимости энергии и действия экологов по защите природных ресурсов вынуждают снабжающие предприятия экономить и сокращать потребление энергии [1]. Многие компании также вынуждены использовать мероприятия по снижению потребления энергии в периоды пикового спроса и применять методы энергоэффективности [2–4]. Таким образом, сейчас в целях экономии уделяется особое внимание на уменьшение потери энергии, возникающие в сетях электроснабжения [5–8].

Снижение технических и нетехнических потерь обеспечит снижение стоимости электроэнергии для поставщика, так как будет использоваться меньше электроэнергии от генерирующей компании. Что позволит уменьшить стоимость электроэнергии для потребителя, так как ему не придется оплачивать потери в сети электроснабжения [9–10].

Материалы и методы

Эффективное использование электрической энергии включает в себя все технические и экономические (нетехнические) меры, направленные на снижение потребности в электроэнергии распределительной сети. Хотя реализация стратегии управления электроэнергией может потребовать первоначальных инвестиций, краткосрочная финансовая отдача может быть достигнута за счет экономии затрат на электроэнергию. Основное внимание уделяется разработке рекомендаций снижения потерь электроэнергии в распределительных сетях, которые имеют высокий спрос на электроэнергию и, следовательно, высокий потенциал для энергосбережения. Потребность в энергии растет на 2,6 % в год, общее потребление энергии к 2050 г. удвоится по сравнению с уровнем потребления в 1998 г [2]. Задача состоит в том, чтобы разорвать связь между экономическим ростом и потреблением электроэнергии за счет внедрения эффективных производственных процессов и сокращения расходов. По данным Всемирного банка, электроэнергетика в развивающихся странах теряет более 20 % вырабатываемой электроэнергии из-за потери электроэнергии в электрических сетях, связанные с хищениями или неэффективности. Существуют огромные возможности для снижения потерь электроэнергии, использующих районные распределительные системы. По данным Всемирного банка, использование электроэнергии в жилом секторе неэффективно, но экономия электроэнергии может быть увеличена либо за счет использования энергосберегающего освещения, либо, что более важно, может быть исследовано потребление электроэнергии

физических лиц и выполнено стратегическое планирование управления спросом для снижения потерь электроэнергии в этом направлении.

Потребление электроэнергии физических лиц составляет 20 % национального пикового спроса на электроэнергию и является крупнейшим сектором клиентской базы в сети распределения электроэнергии. Таким образом, ожидается, что доля потребления электроэнергии вырастет, если рост числа потребителей и спрос на электроэнергию будут постоянно увеличиваться. Таким образом, рост спроса на электроэнергию вынуждает электроснабжающие компании и предприятия либо сокращать потери электроэнергии, либо производить больше энергии, что оказывает негативное воздействие на окружающую среду.

Идеальная сеть распределения электрической энергии будет вырабатывать электрическую мощность X и распределять в сеть электрическую мощность, равную X . Из-за потерь в передающих и распределительных участках сети электрической энергии в сеть распределяется меньше X электрической энергии. Эти потери электрической энергии являются системными потерями электрической распределительной сети.

Системные потери электрической распределительной сети можно разделить на две основные группы: технические потери и коммерческие потери. Коммерческие (нетехнические) преобладают на линиях распределительной сети и представляют собой потери из-за:

- потери, связанные с погрешностями при учете (недостаточный класс точности, неисправности приборов учета, ошибки при снятии показаний или их умышленное искажение и т.д.);

- потери электроэнергии в электрических сетях, связанные с хищениями;

- потери при выставлении счетов, связанные с отсутствием точной информации о потребителях и действующих для них условий потребления энергии;

- потери при востребовании оплаты (долговременные долги, значительные разрывы во времени между выставлением счета и оплатой и т.д.).

Однако полученное значение отчетных потерь, как правило, отражает не только физические процессы, происходящие при передаче электрической энергии по электрическим сетям, но и такие явления, как погрешность системы учета электрической энергии, неодновременность снятия показаний приборов учета электрической энергии, все виды недоплат, хищения и пр. Все эти факторы характеризуют объем коммерческих потерь. Суммарное значение отчетных потерь электрической энергии в целом по отрасли соизмеримо с выработкой электрической энергии всеми атомными станциями страны [2].

Мировая статистика показывает, что чем ниже уровень жизни в регионе, тем выше потери электроэнергии. Например, в Индии фактические

потери электроэнергии превышают 26 %. Фактические (отчетные) потери, как известно, определяются разницей показаний счетчиков поступления электроэнергии в сеть и ее полезного отпуска потребителям [2].

Сокращение коммерческие потерь будет иметь прямую экономическую выгоду в виде снижения ценообразования электроэнергии, которые заложены в тариф потребителей, и увеличит выручку от продажи электроэнергии распределительные снабжающий компании, так как потери электроэнергии снижаются, и потребителю может быть продано больше электроэнергии. Коммерческие потери почти невозможно рассчитать из первых принципов, поскольку эти потери зависят от вмешательства человека в сеть распределения электроэнергии. Поэтому для расчета коммерческих потерь необходим косвенный подход. Косвенный подход к расчету коммерческих потерь в электрической распределительной сети предложен Дэвидсоном и др. [2].

Коммерческие и технические потери распределительной сети взаимосвязаны и рассчитываются как общие потери электрической распределительной сети. Поэтому необходимо получить расчетные оценочные значения либо технических, либо коммерческих потерь в сети. Как уже упоминалось, коммерческие потери невозможно рассчитать, поэтому технические потери должны быть получены и количественно определены для электрической распределительной сети [2]:

$$R_{\text{коммерческие}} = \sum R_{\text{произведенные}} - (\sum R_{\text{распределенные}} + \sum R_{\text{технические}} \text{ потери}) \quad (1)$$

Для определения технических потерь была построена модель для количественной оценки технических потерь в распределительной сети. Модель прогнозирует технические потери участка распределительной сети и используется для расчета оценочной стоимости электроэнергии, потребляемой участком распределительной сети. Метод, используемый для расчета технических потерь электрической распределительной сети, позволяет получить оценочные значения потерь энергии для каждого сегмента распределительной сети.

При измерении потребления электроэнергии в электрической распределительной сети одновременно измеряются технические и коммерческие потери. Из-за этого одновременного измерения необходимо получить оценочные значения технического использования энергии для технических потерь в сети. Таким образом, при количественной оценке технических потерь коммерческие потери можно рассчитать с использованием косвенного подхода, как указано в уравнении 1.

t-критерий для двух зависимых (парных) выборок. t-критерий используется для сравнения предполагаемых общих потерь в сети и измеренных сетевых потерь для распределительной сети [4]. Используется t критерий, поскольку он анализирует только отличия двух выходных электрических энергий от входных. Таким образом, исключается изменение других факторов, которые могут влиять на участок сети в распределительной сети. Полученные разные данные при измерениях в сети в начале и конце участка могут быть связаны с различной географической расположенностью, местностью, в которой проложены кабели, длиной кабелей и внешней средой, то есть погодными условиями. Таким образом, используя t критерий, отличающие измерения в сети выполняются в однородных условиях, но условия различных показаний могут меняться для каждого сетевого участка в сети.

Следующее объяснение иллюстрирует однородные условия, при которых проводятся измерения. Пусть X_1 быть набором измерений, представляющих оценочные значения сегмента сети и X_2 быть набором измеренных значений для одного и того же сегмента сети. Предположим, что среднее значение и дисперсия для популяций, представленных X_1 находятся μ_1 и σ_1^2 , а также среднее значение и дисперсия совокупности, представленной X_2 являются μ_2 и σ_2^2 . Разница каждой пары наблюдений определяется как $D_j = X_{1j} - X_{2j}$, где $j = 1, 2, 3$. Предполагается, что разность каждой пары нормально распределена со средним:

$$\mu_D = E(X_1 - X_2) = EX_1 - EX_2 = \mu_1 - \mu_2 \quad (2)$$

и дисперсия σ_D . Таким образом, проверка гипотез о различии между μ_1 , а также μ_2 можно выполнить, выполнив расчет по t-критерию. В частности, тестирование $H_0: \mu_1 - \mu_2 = \Delta_0$ против $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq \Delta_0$ эквивалентно тестированию:

$$\begin{aligned} H_0: \mu_D = \Delta_0 \\ H_1: \mu_D \neq \Delta_0 \end{aligned} \quad (3)$$

Статистика, используемая в модели, представлена следующим образом:

$$T_0 = \frac{D - \Delta_0}{S_D / \sqrt{n}} \quad (4)$$

где D – выборочное среднее наблюдений,

D_0 – постоянная,

S_p – стандартное отклонение выборки,

n – количество выборок при наблюдении за участком сети (обычно $n = 3$).

t критерий дает значение, которое необходимо сравнить с заранее определенным значением t . Он используется для определения уровня уверенности в том, что средние значения двух выборок значительно отличаются друг от друга или наоборот. Если значение существенно не отличается, предполагается, что сегмент сети функционирует правильно без каких-либо существенных потерь коммерческих потерь. Но если есть значительная разница в значении, предполагается, что на данном участке сети предполагаются значительные коммерческие потери, и, таким образом, сегмент распределительной сети идентифицируется как проблемная область.

Далее разрабатываются мероприятия для устранения или минимизации потерь в электрической сети.

Результаты и обсуждение. В настоящее время, где большое внимания уделяется энергоэффективности, становится необходимым не только распределять электрическую энергию, но и уделять внимание проверке методов управления электрической энергией. Эта проверка должна помочь уменьшить потери электроэнергии, и принципом, лежащим в основе снижения этих потерь, является структурированная стратегия управления потерями электроэнергии. Стратегия, используемая для проверки выявления потерь в электрической распределительной сети, разделена на пять этапов, как показано на рисунке 1

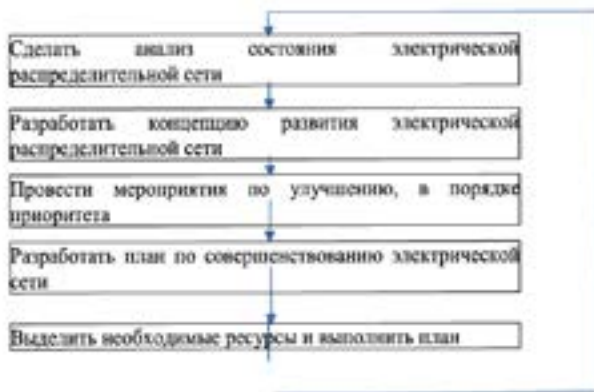


Рисунок 1 – Этапы проверки выявления потерь в электрической распределительной сети

Эти пять шагов используются для выявления проблемных областей и их улучшения. В следующей итерации модели эти выявленные проблемные области должны иметь более низкий приоритет, чем предыдущая итерация.

Если проблемная область выше, то предположение о параметрах модели считается неточным для конкретного участка сети и мероприятия должны быть пересмотрены. Модель распределительной сети считается правильной, если выявленные проблемные области имеют более низкий приоритет, чем на предыдущей итерации модели.

Информацию о финансировании

Исследование финансируется Комитетом по науке Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант №. AP09058186)

Выводы

В статье построена модель для прогнозирования потерь электроэнергии в распределительной сети. Эта модель включает в себя факторы и параметры, которые способствуют потерям электроэнергии на участке распределительной сети. Используя факторы и параметры, модель позволяет количественно оценить технические потери в распределительной сети. Это используется для расчета коммерческих потерь на участке распределительной сети, что позволяет распределительным компаниям оценивать потери электроэнергии и выявлять проблемные зоны в распределительных сетях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Davidson, E and Odubiyi, A.** Technical loss computation and economic dispatch model for T&D systems in deregulated ESI, Power Engineering Journal. – 2002. – P. 55.

2 **Douglas, G, Montgomery, GC and Runger, NH.** Engineering Statistics, John Wiley and Sons, Arizona State University. – 2000. – P. 140–151.

3 **Semenov, A.S.** Lower the economic losses in electric networks // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – № 12. – С. 57–59. URL: <http://expeducation.ru/ru/article/view?id=4291> (дата обращения: 17.08.2022).

4 **Могиленко, А.** Снижение потерь электроэнергии. Опыт разных стран. Новости ЭлектроТехники. – 2014. – № 6 (90). – С.29–35.

5 **Садовская, А.** Аспекты снижения потерь электроэнергии в электрических сетях. Энергетика. – 2015. – № 4 (55). – С.18–21.

6 **Воротницкий, В. Э., Калинкина, М. А.** Об опыте расчётов, анализа и нормирования потерь электроэнергии в электрических сетях России и Казахстана. 2019. URL: <https://ken.kz/news/opyt-raschetov> (дата обращения: 17.08.2022).

7 **Suslov, K. V., Stepanov, V. S., Solonina, N. N.** Smart grid: Effect of high harmonics on electricity consumers in distribution networks. International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE), Brugge,

Belgium, IEEE. – 2013. <http://toc.proceedings.com/19894webtoc.pdf>. (дата обращения: 17.08.2022).

8 **Akimzhanov, T. B., Kharlov, N. N., Borovikov, V. S.** Development of calculation methods for additional electrical power losses during transportation, The 9th International Forum on Strategic Technology (IFOST), October 21–23, 2014, Cox's Bazar, Bangladesh. Publisher: IEEE. – 2014. – P. 351 – 354.

9 **Боровиков, В. С., Волков, М. В., Иванов, В. В** и др. Опыт корпоративного обследования электрических сетей 110 кВ Сибири : Монография. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2010. – 228 с.

10 **Акмузин, А., Исенов, Е.** Управление качеством электроэнергии в электрических сетях Республики Казахстан с позиции национальных интересов и стратегии международного электроэнергетического сотрудничества. Энергетика – 2014. – № 4 (51). – С. 20–22.

REFERENCES

1 **Davidson, E and Odubiyi, A.** Technical loss computing and economic dispatch model for T&D systems in deregulated ESI, Power Engineering Journal. – 2002. – P. 55.

2 **Douglas, G, Montgomery, GC and Runger, NH.** Engineering Statistics, John Wiley and Sons, Arizona State University. – 2000. – P. 140–151.

3 **Semenov, A.S.** Lower the economic losses in electric networks // Mezhdunarodny'j zhurnal e'ksperimental'nogo obrazovaniya. – 2013. – No. 12. – PP. 57-59. URL: <http://expeducation.ru/ru/article/view?id=4291> (accessed: 08/17/2022).

4 **Mogilenko, A.** Snizhenie poter' e'lektroe`nergii. Opy`t razny`x stran. Novosti E`lektroTexniki. – 2014. – № 6 (90). – S. 29-35.

5 **Sadovskaya, A.** Aspekty` snizheniya poter` e'lektroe`nergii v e'lektricheskix setyax. E`nergetika. – 2015. – №4(55). – S.18–21.

6 **Vorotniczkij, V.E`., Kalinkina, M.A.** Ob opy`te raschyotov, analiza i normirovaniya poter` e'lektroe`nergii v e'lektricheskix setyax Rossii i Kazaxstana. 2019. URL: <https://ken.kz/news/opyt-raschetov> (data obrashheniya: 17.08.2022).

7 **Suslov, K. V., Stepanov, V. S., Solonina, N.N.** Smart grid: Effect of high harmonics on electricity consumers in distribution networks. International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE), Brugge, Belgium, IEEE. – 2013. <http://toc.proceedings.com/19894webtoc.pdf>. (accessed: 08/17/2022).

8 **Akimzhanov, T.B., Kharlov, N.N., Borovikov, V.S.** Development of calculation methods for additional electrical power losses during transportation, The 9th International Forum on Strategic Technology (IFOST), October 21-23, 2014, Cox's Bazar, Bangladesh. Publisher: IEEE, 2014. – p. 351 – 354.

9 **Borovikov, V.S., Volkov, M.V., Ivanov, V.V** i dr. Opyt korporativnogo obsledovaniya e`lektricheskix setej 110 kV Sibiri: Monografiya. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politexnicheskogo universiteta. – 2010. – 228 P.

10 **Akmuzin, A., Isenov, E.** Upravlenie kachestvom e`lektroe`nergii v e`lektricheskix setyax Respubliki Kazaxstan s pozicii nacional`ny`x interesov i strategii mezhdunarodnogo e`lektroe`nergeticheskogo sotrudnichestva. E`nergetika, 2014. – № 4 (51). – P. 20–22.

Материал поступил в редакци 15.09.22

*Ж. Б. Исабеков¹, Б. Б. Исабекова²,

А. Б. Жантілесова³, У. К. Жалмагамбетова⁴

^{1,2,3}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

⁴Сейфуллин атындағы Қазақ мемлекеттік университеті Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

ТАРАТУШЫ ЭЛЕКТР ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫНЫҢ КОММЕРЦИЯЛЫҚ ШЫҒЫНДАРЫ

Осы мақалада келтірілген тәсіл тарту желісіндегі техникалық шығындардың әртүрлі түрлерін анықтайды және шығындарды әртүрлі сегменттердің пайыздық үлесімен байланыстырады. Содан кейін тарту желісінің әр бөлімі желінің осы бөлімі үшін энергия балансының сақталуын анықтау үшін статистикалық бағалаудан өтеді. Бұл тәсіл проблемаларды анықтай алады және егер ол электр тарту желісінде болса. Электр энергиясын тартумен айналысатын энергия компанияларының қызметтерін ұсынатын проблемалық аймақтарды анықтау арқылы электр энергиясының тарифіне бағаны төмендету арқылы электр энергиясын тұтынушылардың кірістерін үнемдеуге болады.

Электр энергиясын пайдаланудың тиімсіздігі негізінен тарту электр желісінің төмен вольтты учаскелеріндегі шығындармен байланысты және техникалық және техникалық емес шығындарға бөлінеді. Техникалық шығындар есептелуі және тарту желісіндегі жалпы шығындарды бағалау үшін пайдаланылуы мүмкін. Электр желісінің учаскесіндегі техникалық ысыраптардың бағалау мәнін және тарту желісінің осы учаскесіне жеткізілетін жалпы босатылған электр энергиясының мәнін қолдана отырып, тарту желісіндегі техникалық емес шығындарды анықтауға болады.

*Техникалық емес шығындарды тудыратын мәселелерді анықтау
Электр тарату желісінде электр энергиясын пайдалану тиімділігін
арттыруға мүмкіндік береді.*

*Кілтті сөздер: электрмен жабдықтау жүйелері, электр
энергиясының шығындары, электр энергиясы, жүйенің жүктемесі,
электр желілері.*

*J. B. Issabekov¹, B. B. Issabekova²,

A. B. Zhantlessova³, U. K. Zhalmagambetova⁴

^{1,2,3}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

⁴Kazakh State University named after S. Seifullin,

Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.

Material received on 15.09.22.

COMMERCIAL LOSSES OF ELECTRIC ENERGY IN DISTRIBUTIVE ELECTRIC NETWORKS

The approach presented in this article identifies different types of technical losses in the distribution network and relates the losses to the percentage of different segments. Each section of the distribution network is then subjected to a statistical assessment to determine whether the energy balance is maintained for this section of the network. This approach can identify problems, and if it exists in the electrical distribution network. By identifying the problem areas of energy companies providing electricity distribution services, it is possible to save the incomes of electricity consumers by reducing the pricing of electricity tariffs.

Inefficiency in the use of electrical energy is mainly associated with losses in low-voltage sections of the distribution electrical network and is divided into technical and non-technical losses. Technical losses can be calculated and used to estimate the total losses in the distribution network. Using the estimated value of technical losses on a section of the electrical network and the value of the total electricity supplied to this section of the distribution network, it is possible to determine non-technical losses in the distribution network. The identification of problems causing non-technical losses creates opportunities to increase the efficiency of electricity use in the electric distribution network.

Keywords: power supply systems, electricity losses, electrical energy, system load, electrical networks.

Теруге 15.09.2022 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2022 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

3 Mb RAM

Шартты баспа табағы 19,8. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3989

Сдано в набор 15.09.2022 г. Подписано в печать 30.09.2022 г.

Электронное издание

3 Mb RAM

Усл. печ. л. 19,8. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3989

«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