

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК **Торайғыров университета**

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2025)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

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

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

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

Подписной индекс – 76136

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

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сагындық Э.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

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

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

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

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/OCZA9347>

***У. Жалмагамбетова¹, М. Крыкбаева²,
А. Шимпф³, А. Казамбаев⁴, Д. Снопков⁵**

^{1,2,3,4,5}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2261-2222>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0770-5164>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4203-9117>

⁴ORCID <https://orcid.org/0009-0005-5081-1623>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6907-9667>

*e-mail: ultuara@mail.ru

ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО РАДИОКАНАЛУ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ СТАНЦИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В статье рассмотрена возможность передачи данных по радиоканалу для автономных мобильных систем экологического мониторинга. В результате поиска и изучения информации о современных методах передачи данных с первичных измерителей на стационарных источниках эмиссий, проведен анализ информации об облачных технологиях и решениях, применимых для автоматизированного мониторинга, исследованы существующие протоколы передачи данных, их возможности и применимость в передвижных станциях мониторинга окружающей среды.

При исследовании требований безопасности передачи данных и возможных методов их защиты подготовлена структурная схема разработанной системы передачи информации. Такая система учитывает возможность интеграции облачных сервисов для сбора, хранения и обработки данных.

Приведенные результаты экспериментов были получены при передаче по радиоканалу с использованием микропроцессоров Raspberry Pi. Такое решение должно учитывать использование мобильных станций экологического мониторинга в удаленных труднодоступных местах, без возможности применения сотовой связи. К удаленным местам без покрытия GSM также можно отнести степь, рельеф или густую растительность, где невозможна установка необходимого

стационарного оборудования. Такие изолированные территории как правило подвергаются экологическому влиянию внешних антропогенных факторов, без возможности фиксации основных показателей от источников загрязнений.

Ключевые слова: Raspberry Pi, выбросы, Industry 4.0, IoT, микропроцессоры, системы автоматизированного мониторинга.

Введение

На сегодняшний день вопросы экологического мониторинга особенно остро встают не только для Павлодарской области, но и для всех промышленных регионов нашей страны. Это связано в первую очередь с высокими требованиями экологического законодательства [1]. Павлодарская область – это индустриальная развитая промышленная область в Казахстане, где сосредоточены крупные промышленные предприятия. Здесь расположены заводы, специализирующиеся на переработке различного сырья. Основные отрасли промышленности в Павлодарской области включают металлургию, химическую промышленность и машиностроение. Крупнейшие предприятия занимаются производством стали, труб, химических и других продуктов. Для примера в области находятся заводы по производству стали и металлоканата, что делает её важным центром металлургической промышленности в стране.

Кроме того, в регионе работают предприятия, занимающиеся переработкой сельскохозяйственной продукции и других видов сырья. Это способствует развитию экономики и обеспечивает население необходимыми товарами [2].

Такое отягощение промышленностью региона накладывает особые обязательства по охране окружающей среды и экологическому мониторингу. Особенno это касается мест, не имеющих фиксированных стационарных пунктов сбора информации по основным показателям загрязняющих выбросов. В Казахстане уже в течении десятилетия ведётся работа по внедрению систем экологического контроля за состоянием воздуха, почв и водных ресурсов, но тем не менее, вопросы охраны окружающей среды на данный момент стоят не менее остро [3].

Материалы и методы

Проводятся исследования по внедрению мобильных систем автоматизированной передачи данных от источников загрязнений не имеющих стационарных пунктов сбора информации по выбросам. Такая автономная мобильная установка больше походит для перемещения в степях, лесах, и других труднодоступных местах, где возможно возникновение стихийных источников загрязнения окружающей среды. Главной особенность такой мобильной установки является передача данных без поддержки GSM.

Мобильная установка даёт возможность применения не только в городе и местах, где присутствует сотовая связь, но и удаленных от мобильной связи точках. Автономные станции экологического мониторинга могут быть установлены на наземных и воздушных устройствах с дистанционным управлением (квадрокоптеры, радиоуправляемые машины) [4].

Использование микропроцессоров Raspberry Pi для передачи данных по радиоканалу в удалённых и труднодоступных местах, где отсутствует сотовая связь, представляет собой перспективное направление в области экологического мониторинга. Эти устройства обладают рядом преимуществ, которые делают их идеальными для решения подобных задач.

Во-первых, Raspberry Pi отличается компактностью и энергоэффективностью, что позволяет использовать их в автономных системах, работающих от аккумуляторов или солнечных панелей. Это особенно важно в условиях, где доступ к внешним источникам питания ограничен [5].

Во-вторых, Raspberry Pi обладает широким спектром возможностей для интеграции с различными датчиками и устройствами, что позволяет создавать многофункциональные системы мониторинга. Например, с их помощью можно собирать данные о качестве воздуха, воды, почвы, уровне шума, температуре и других экологических параметрах [6].

В-третьих, Raspberry Pi поддерживает различные протоколы связи, включая радиоканалы, что обеспечивает гибкость в выборе способа передачи данных. Это особенно важно для работы в условиях, где сотовая связь недоступна.

Однако использование Raspberry Pi в таких условиях также сопряжено с рядом вызовов. Одним из основных является необходимость обеспечения надёжной и устойчивой связи между устройствами. Радиоканалы могут быть подвержены помехам и затуханию сигнала, особенно в условиях сложного рельефа или густой растительности. Для решения этой проблемы можно использовать различные методы, такие как выбор оптимального частотного диапазона, применение усилителей сигнала и антенн с высоким коэффициентом усиления. Отметим, что необходимо учитывать вопросы безопасности данных при передаче их по радиоканалу [7]. В условиях удалённого мониторинга важно обеспечить защиту от несанкционированного доступа и перехвата информации. Это может быть достигнуто с помощью шифрования данных и использования надёжных протоколов аутентификации.

Также стоит отметить, что разработка и внедрение таких систем требует тщательного планирования и тестирования. Необходимо учитывать особенности конкретной местности, выбирать подходящие датчики и оборудование, а также проводить регулярные проверки и калибровку системы.

Результаты и обсуждение

Спроектирована система телеметрии LoRa на базе Python для Raspberry Pi 4 и E22-900T22S (UART), которая поддерживает шифрование AES-128, контрольную сумму CRC8, ведение журнала в формате CSV и автоматический сбор данных. Структурная схема приведена на рисунке 1.

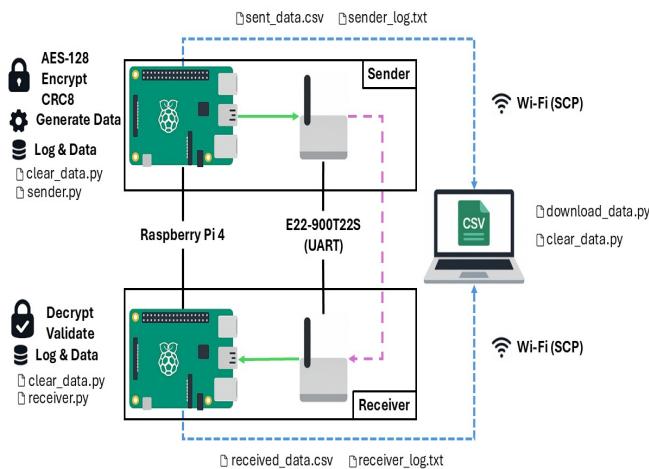


Рисунок 1 – структурная схема спроектированной системы передачи данных на базе Raspberry Pi 4

Для оценки эффективности технологии беспроводной передачи данных LoRa в условиях открытого пространства был проведён эксперимент с использованием контроллера Raspberry Pi и радиомодуля SX1272 (рисунок2).

Целью эксперимента являлась комплексная оценка стабильности связи, дальности уверенного приёма, а также изучение влияния расстояния на основные параметры радиосигнала, такие как RSSI (Received Signal Strength Indicator) и SNR (Signal-to-Noise Ratio). Эксперимент направлен на получение объективных количественных показателей, позволяющих сделать выводы о применимости технологии LoRa для задач передачи телеметрической информации в распределённых системах мониторинга.

В ходе эксперимента были использованы следующие технические и программные средства: контроллер Raspberry Pi 4 Model B с 4 ГБ оперативной памяти, LoRa-модуль Semtech SX1272, работающий в диапазоне частот 868 МГц, всенаправленная антенна с коэффициентом усиления 5 dBi, операционная система Raspbian OS, библиотека LoRa-коммуникаций

RadioHead (RH_RF95), измерительное программное обеспечение и пользовательские Python-скрипты для логирования параметров.



Рисунок 2 – Устройства для передачи данных на базе Raspberry Pi,
проведение эксперимента

Результаты тестирования с использованием AES-128 приведены в табличной форме на рисунке 3. AES-128 (от англ. Advanced Encryption Standard) – это алгоритм блочного шифрования, основанный на нескольких подстановках и перестановках, происходящих с блоками данных по 16 байт. Длина ключа этого вида шифрования равна 128 бит, с 3 уровнями защиты.

Эксперимент проводился в городе, в дневное время с учетом возможных помех от внешних устройств, с фиксацией параметров при изменении дистанции, начиная от 100 метров до одного километра. Можно отметить, что в городском режиме показатели обычно хуже, так как на открытой местности, удаленной от источников шума сигнал проходит значительно лучше [8]. На рисунке 3 приведены результаты передачи пакетов данных на минимально расстоянии, это 100 и 200 метров, как видно пакет доставлен полностью, без потерь и помех. При увеличении расстояния более 1 километра, доставка пакетов снижается почти до 80 %. Что позволяет сделать вывод, что данное устройство в приведенной комплектации имеет смысл использовать на расстоянии не более 800 метров. Для увеличения дальности вещания возможно использовать антенну большей мощности [9].

packet_id,timestamp,temperature,pressure,humidity,density,concentration,crc_ok,.....
1747883258,5/22/2025 4:07,21,980,60,1,72,True,"Внутри помещения,"..... В результате проведённой работы был разработан и апробирован прототип
Программное обеспечение, установленное на Raspberry Pi, представляет собой систему на базе ОС Raspbian с установленными Python-скрипта
Эксперим.....
1747883288,5/22/2025 4:08,22,991,41,2,144,True,.....
1747883318,5/22/2025 4:08,30,1005,55,3,108,True,.....
1747883348,5/22/2025 4:27,24,900,60,1,90,True,"100м,".....
1747883378,5/22/2025 4:28,26,965,54,2,139,True,.....
1747883408,5/22/2025 4:28,32,999,45,2,56,True,.....
1747883438,5/22/2025 4:57,25,986,60,1,50,True,"200м,".....
1747883468,5/22/2025 4:58,28,987,41,1,20,True,.....
1747883498,5/22/2025 4:58,31,1003,55,2,57,True,.....
.....
№,Расст. (м),RSSI (дБм),SNR (дБ),Пакеты,Успешно,Потери,"RSSI (в помещении), dBm","SNR (в помещении), dB","Потеря пакетов, %"
1,25,-35,10,5,50,50,0%,-55,7,0,.....
2,50,-40,10,50,50,0%,67,5,5,.....
3,75,-45,9,50,50,0%,-75,3,8,.....
4,100,-50,9,50,50,0%,82,1,15,.....
5,125,-58,8,50,49,2,.....
6,150,-65,6,5,50,48,4,.....
7,175,-72,5,50,47,6,.....
8,200,-78,3,5,50,45,10,.....
.....
Формирование (мс),Обработка (мс),.....
120,80,.....

Рисунок 3 – Отображение результатов экспериментов

Информация о финансировании

Исследования выполнены при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках проекта программно-целевого финансирования ИРН BR2182258 «Разработка комплекса интеллектуальных информационно-коммуникационных систем для экологического мониторинга эмиссий в окружающую среду для принятия управленических решений в концепте углеродной нейтральности».

Выводы

Применение микропроцессоров Raspberry Pi для экологического мониторинга в удалённых и труднодоступных местах представляет собой перспективное и многообещающее направление. Однако для успешного применения таких систем необходимо учитывать ряд факторов, связанных с надёжностью связи, безопасностью данных и особенностями местности. Несмотря на небольшое увеличение времени обработки сообщений и общего объёма передаваемых данных, защищённый режим позволил обеспечить базовый уровень криптографической стойкости, достаточный для защиты телеметрической информации от пассивного перехвата и несанкционированного доступа. При изменении конфигурации системы и использованного технического оборудования возможно улучшение отдельных показателей системы, таких как дальность передачи данных, переход к спящему режиму, количество переданных пакетов и т.д. Такие показатели необходимо задать при проектировании системы передачи данных для автоматизированного экологического мониторинга [10].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Zhong, J. Y., Zheng, G. Q., Lei, J.Che Chen.**, Analysis of the current state and trends of air quality monitoring networks. Monit. China. 2007. – Vol. P. 02. – P.113–118.

2 **Карделино, К. А., Чамейдес, В. Л.**, Применение данных со станций мониторинга фотохимической оценки к модели, основанной на наблюдениях // Атмос. Окружающая среда. 2000. – Вып.34. – С. 23–25.

3 **Baskakov, S. S.** Distributed Monitoring Systems Based on Wireless Sensor Networks. «Hardware and Software of Control, Control and Measurement Systems». M., 2012.

4 **Жалмагамбетова, У., Нефтисов, А.**, Environmental monitoring in kazakhstan context – state-of-the-art and challenges for industrial region // Вестник Торайғыров университета. Энергетическая серия. – 2024. – № 1. – С. 82–93. – <https://doi.org/10.48081/MOFF1407>

5 **Жалмагамбетова, У.**, Проектирование систем передачи информации для автоматизированного экологического мониторинга // – Вестник Торайғыров университета». Энергетическая серия. – 2025. – № 1. – С.108–120. – <https://doi.org/10.48081/WNUU3720>

6 **Кириченко, Л.**, Методы определения эмиссий от основных стационарных источников загрязнений // Вестник Торайғыров университета. Энергетическая серия. – 2024. – № 3. – С. 167–180. – <https://doi.org/10.48081/HRWJ4394>

7 **Zhalmagambetova, U.**, Development of an automatic monitoring system based on the open architecture concept // Вестник Торайғыров университета. Энергетическая серия. – 2024. – № 2 – С. 112–125. – <https://doi.org/10.48081/BMOM3785>

8 **Рябовая, В. О., Доронина, Ю. В.** Повышение эффективности систем экологического мониторинга // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. Вып. 4. – №6 (58). – С. 41–44.

9 **Imboden, D., Pfenniger, S.** Introduction to Systems Analysis: Mathematically Modeling Natural Systems // Berlin, New York, Springer. – 2013. – Vol. 8. – P. – 235–252.

10 **Comella-Dorda, S., Wallnau, K., Seacord., R.C., Robert., J.** A Survey of Legacy System Modernization Approaches // Carnegie Mellon University. Tech. Note CMU/SEI-2000-TN-003. – 2000. – <http://www.sei.cmu.edu/publications/documents/00.reports/00tn003.html>

REFERENCES

- 1 **Zhong, J. Y., Zheng, G.Q., Lei, J., Che Chen.**, Analysis of the current state and trends of air quality monitoring networks. *Monit. China.* – 2007. – Vol.02. – P.113–118.
- 2 **Cardelino., K. A., Chameides., V. L.** Primenenie dannyh so stancij monitoringa fotohimicheskoy ocenki k modeli, osnovannoj na nablyudeniyah [Application of data from photochemical assessment monitoring stations to an observation-based model] // *Atmos. Environment.* – 2000. – Vol. 34. – P. 23–25.
- 3 **Baskakov., S. S.** Distributed Monitoring Systems Based on Wireless Sensor Networks. «Hardware and Software of Control, Control and Measurement Systems».
- 4 **Zhalmagambetova., U., Neftisov., A.**, Environmental monitoring in kazakhstani context – state-of-the-art and challenges for industrial region // *Vestnik Toraygyrov university. Energy seriy* – 2024. – № 1. – P. 82–93. – <https://doi.org/10.48081/MOFF1407>
- 5 Zhalmagambetova, U., Proyektirovaniye sistem peredachi informatsii dlya avtomatizirovannogo ekologicheskogo monitoring [Design of information transmission systems for automated environmental monitoring] // *Vestnik Toraighyrov universiteta*. Energeticheskaya seriyes – 2025. – № 1. – P. 108–120. <https://doi.org/10.48081/WNUU3720>
- 6 **Kirichenko., L.**, Metody opredeleniya emissiy ot osnovnykh statcionarnykh istochnikov zagryazneniy [Methods for determining emissions from the main stationary sources of pollution] // *Bulletin of Toraigyr University. Energy series.* – 2024. – № 3. – P. 167–180. – <https://doi.org/10.48081/HRWJ4394>
- 7 **Zhalmagambetova., U.**, Development of an automatic monitoring system based on the open architecture concept // *Bulletin of Toraigyr University. Energy series.* – 2024. – № 2. – P. 112–125. – <https://doi.org/10.48081/BMOM3785>
- 8 **Ryabovaya., V. O., Doronina., Yu. V.** Povyshenie effektivnosti sistem ekologicheskogo monitoringa [Improving the effectiveness of environmental monitoring systems]. – 2012. – Vol. 4. – № 6 (58). P. 41–44.
- 9 **Imboden, D., Pfenninger, S.** Introduction to System Analysis: Mathematical Modeling of Natural Systems. – 2013. – Vol. 8. – P. 235–252.
- 10 **Comella-Dorda., S., Wallnau., K. Sicord, R. K., Robert., J.** Review of Approaches to Modernizing Obsolete Systems // Carnegie Mellon University. Technical note CMU/SEI-2000-TN-003. – 2000. [Electronic resource]. – <http://www.sei.cmu.edu/publications/documents/00.report s/00tn003.html>

Поступило в редакцию 23.07.25.

Поступило с исправлениями 29.07.25.

Принято в печать 05.09.25.

*У. Жалмагамбетова¹, М. Крыкбаева², А. Шимпф³,

А. Казамбаев⁴, Д. Снопков⁵

^{1,2,3,4,5}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

23.07.25 ж. баспаға түсті.

29.07.25 ж. түзетулерімен түсті.

05.09.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

АВТОНОМДЫ ҚОРШАҒАН ОРТАНЫ БАҚЫЛАУ СТАНЦИЯЛАРЫ ҮШІН РАДИОАРНА АРҚЫЛЫ ДЕРЕКТЕРДІ БЕРУДІҢ ТИМДІ ШЕШІМІ

Мақалада мәліметтерді радиоарна арқылы беру арқылы қоршаган ортанды бақылаудың автономды мобиЛЬДІ жүйелерін пайдалану қарастырылады. Стационарлық әмиссия көздеріндегі бастапқы олшеу құрылғыларынан деректерді берудің заманауи әдістері туралы ақпаратты іздеу және зерделеу нәтижесінде бұлттық технологиялар және әмиссиялардың автоматтандырылған мониторингі үшін қолданылатын шешімдер туралы ақпаратқа талдау жүргізілді, деректерді берудің қолданыстағы хаттамалары, олардың мүмкіндіктері мен автономды экологиялық мониторинг станцияларында қолдану мүмкіндігі зерттелді.

Деректерді беру қауіпсіздігі талаптарын және оларды қоргаудың мүмкін әдістерін зерделеу кезінде өзірленген ақпаратты беру жүйесінің құрылымдық диаграммасы дайындалды. Мұндай деректерді беру жүйесі деректерді жинау, сактау және оңдеу үшін бұлттық қызметтерді біріктіру мүмкіндігін ескереді. Ұсынылған эксперименттік нәтижелер Raspberry Pi микропроцессорларының комегімен радиоарна арқылы деректерді беру кезінде алынды. Мұндай шешім үялы байланысты пайдалану мүмкіндігінші шалгай, жету қының жерлерде жылжымалы қоршаган ортанды бақылау станцияларын пайдалануды ескеруі керек. GSM қамтуы және шалгай жерлерге сонымен қатар қажетті стационарлық жабдықты орнату мүмкін болмайтын даға, жер немесе тығыз осімдіктер жетады. Мұндай оқшауланған аумақтар әдетте ластану көздерінен негізгі корсеткіштерді тіркеу мүмкіндігінші сыртқы антропогендік факторлардың экологиялық өсеріне үшіншайды.

Кілтті сөздер: Raspberry Pi, шығарындылар, Industry 4.0, IoT, микропроцессорлар, автоматтандырылған бақылау жүйелері.

**U. Zhalmagambetova¹, M. Krykbayeva², A. Shimpf³,*

A. Kazambayev⁴, D. Snopkov⁵,

^{1,2,3,4,5}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Received 23.07.25.

Received in revised form 29.07.25.

Accepted for publication 05.09.25.

AN EFFICIENT SOLUTION FOR DATA TRANSMISSION VIA RADIO CHANNEL FOR AUTONOMOUS ENVIRONMENTAL MONITORING STATIONS

The article discussed the use of autonomous mobile ecological monitoring systems with data transmission via radio channel. As a result of studying and analyzing on modern methods of data transmission with primary measurer at stationary emission sources an analysis of information on cloud technology and solution applicable for autonomous emission was conducted, existing data transmission protocols, their capacities and applicability on autonomous environmental monitoring station were studied.

Structured scheme of developed information transmission system was prepared during the research of the data transfer security ad possible methods of their protection. This data transmission system includes the possibility of integrating cloud services for collecting, storing and processing data.

The given experiment results were received during transferring the data via radio channel with the use of Raspberry Pi microprocessors. This solution must include the use of mobile ecological monitoring stations in remote, hard to reach places without the possibility of using cellular communications. Remote areas without GSM coverage also include steppe, terrain or dense vegetation where it is impossible to install the necessary stationary equipment. Previously listed isolated territories, generally, are subject to environmental influences from external anthropogenic factors without the ability to fix main pollution source indicators.

Keywords: *Raspberry Pi, Emissions, Industry 4.0, IoT, microprocessors, autonomous monitoring systems.*

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

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

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

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4447

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

Электронное издание

29.9 Mb RAM

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

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4447

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

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

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

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

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz