

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

---

№ 4 (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/GMYR4462>

**Бас редакторы – главный редактор**

Талипов О. М.

*доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)*

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Шокубаева З. Ж.	<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/YIWZ8387>

**Р. М. Машрапова<sup>1</sup>, А. С. Барукин<sup>2</sup>,  
\*Б. Е. Машрапов<sup>3</sup>, А. Ж. Динмуханбетова<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар.

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9509-5767>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5969-4030>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3018-4125>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8325-9724>

\*e-mail: [bokamashrapov@mail.ru](mailto:bokamashrapov@mail.ru)

## **ВЫБОР МАГНИТНОГО ЭКРАНА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЗАЩИТЫ КОМПЛЕКТНОГО ТОКОПРОВОДА НА ОСНОВЕ КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ**

*Констатируется необходимость замены трансформаторов тока с ферромагнитным сердечником на более миниатюрные и менее металлоемкие датчики тока. Указывается, что в качестве таких датчиков могут быть использованы широко применяемые в технике катушки индуктивности. Кратко изложены достигнутые в настоящее время результаты в направлении построения защиты комплектного токопровода на основе катушек индуктивности. Отмечено, что для их защиты от влияния внешних магнитных полей нужны магнитные экраны. Представлены модели нескольких вариантов выполнения таких экранов из алюминия и электротехнической стали – П-образный сектор; П-образное кольцо (разомкнутое или замкнутое); кольцо из полосы металла. Описана методика проведения исследований их экранирующих свойств. Установлено, что наиболее эффективным является П-образный экран из алюминия в виде разомкнутого кольца. В отличие от такого же замкнутого кольца, появляется доступ катушкам индуктивности. В сравнении с П-образным сектором, он эффективнее защищает катушки индуктивности от внешних магнитных полей, а в сравнении с кольцом из полосы электротехнической стали имеет меньший вес. Приведены зависимости экранирующих свойств экрана от геометрических размеров П-образного кольца.*

*Ключевые слова: комплектный токопровод, катушка индуктивности, защита, магнитное поле, экран.*

### **Введение.**

Закрытые комплектные токопроводы (КТ) с тремя фазами в общей оболочке широко применяются на электрических станциях для питания элементов собственных нужд [1; 2]. Как и на любом другом электрооборудовании на них могут происходить короткие замыкания (КЗ), которые выявляются устройствами релейной защиты. В подавляющем большинстве случаев эти устройства получают информацию от трансформаторов тока (ТТ) [3, с. 42], о необходимости замены которых неоднократно указывалось в различных высокорейтинговых научных изданиях и международных конференциях [4; 5; 6; 7; 8]. При этом одной из основных причин упоминалась их металлоемкость. Для построения защиты без использования ТТ нами предложено получать информацию о токах в шинах токопровода от катушек индуктивности (КИ), располагаемых на его оболочке [9]. В [9] также предложены методика выбора параметров срабатывания защиты, ее принцип действия и алгоритм функционирования.

(В [9; 10] приведены результаты исследования магнитных полей (МП) вокруг оболочки токопровода при наличии и отсутствии соседнего токопровода. По результатам этих исследований установлено, что:

– отстраивать уставку срабатывания защиты нужно от токов двухфазного КЗ, протекающих в шинах соседнего токопровода;

– ЭДС  $E_{кз}$  на выводах КИ в этом режиме можно рассчитать по формуле:

$$|E_{кз}| = |E| (k_1 \cdot m_1 + 1). \quad (1)$$

где  $E$  – вектор ЭДС, наводимой в КИ токами в шинах защищаемого токопровода (может быть рассчитана на основе закона Био-Савара-Лапласа с введением поправочных коэффициентов [10, с]);  $m$  – коэффициент, учитывающий увеличение ЭДС на выводах КИ из-за влияния указанных токов двухфазного КЗ ( $m \leq 0,3$ );  $k_1$  – кратность тока двухфазного КЗ в соседнем токопроводе к току нагрузки защищаемого токопровода.

Понятно, что для уменьшения влияния этих токов, т.е. обеспечения меньшего  $m_1$ , нужно экранировать КИ. Однако исследований о том, какими должны быть форма и габариты экрана, не приведено. Поэтому в данной работе представлен сравнительный анализ трех экранов и выбран наиболее подходящий из них.

### Материалы и методы

Для проведения исследований были использованы модели токопроводов с диаметрами  $D=623, 640, 700, 890$  мм, адекватность которых подтверждена экспериментально [9]. Однотипные токопроводы КТ 1 и КТ 2, как и в [9], располагались на расстоянии 60 см друг от друга (рисунок 1). Толщина стенки КТ 1 принималась 3 мм, а КТ 2–5 мм [9].

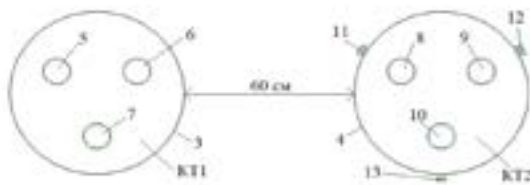


Рисунок 1 – Расположение токопроводов и катушек индуктивности

КИ 11, 12, 13 располагались на расстоянии 15 мм от оболочки 4, как показано на рисунке 1. Для экранирования КИ от МП, созданного токами в шинах КТ1 были смоделированы, экраны из электротехнической стали и алюминия: П-образные в виде сектора (рисунок 2,а); в виде кольца из полосы металла разной ширины (рисунок 2,б); П-образные в виде замкнутых и разомкнутых колец (рисунок 2,в). При этом между оболочкой и П-образными экранами из стали обеспечивался зазор в 1 мм, а экран из алюминия присоединялся к ней.



Рисунок 2 – Формы экранов для защиты КИ от внешних МП: (а) П-образный в виде сектора; (б) в виде кольца из полосы металла; (в) П-образный в виде разомкнутого кольца

Диаметры экранов принимались равными  $D1=D+30$  (где 30 – минимальное расстояние, в мм, от оболочки до несущей конструкции).

Толщина стенок экранов принималась 1–5 мм, ширина – 50–200 мм (рисунок 3). На рисунке 3 показано расположение КИ под экраном в виде П-образного кольца, где видно, что экран вплотную прилегает к оболочке токопровода, закрывая КИ с трех сторон. Аналогично устанавливается П-образный экран в виде сектора.

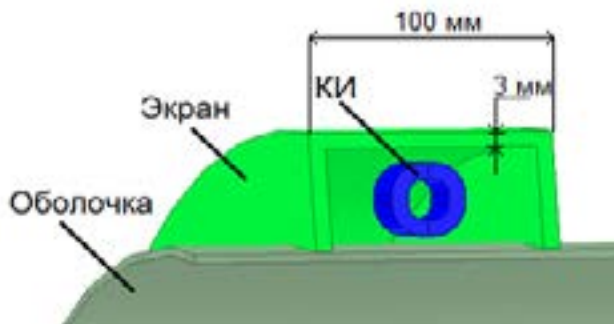


Рисунок 3 – КИ под П-образным экраном в виде кольца шириной 150 мм, опоясывающего оболочку токопровода

При проведении исследований в первую очередь было определено как влияет каждый из экранов на МП, созданное токами в шинах 8-10. Для этого при наличии и отсутствии экрана подавали токи 600 А в шины 8-10 и фиксировали ЭДС  $E$  и  $E_1$ , наводимые на выводах КИ 11–13. Затем эти ЭДС сравнивали между собой, и определяли поправочный коэффициент  $k=E_1/E$ .

Далее было исследовано насколько эффективно каждый из рассматриваемых экранов защищает КИ от внешних МП. Поскольку в [9] показано, что защиту токопровода нужно отстраивать от токов двухфазного короткого замыкания (КЗ), протекающего в шинах КТ1, то и эффективность экранов оценивалась в этом режиме. Подавали токи 600 А в шины 5 и 6 КТ1 (при протекании тока в этих шинах влияние на КИ максимально) и 8–10 КТ2. На рисунке 4 показано распределение МП при протекании тока в двух фазах КТ1 и трех фазах КТ2. Фиксировали показания ЭДС на выводах КИ 11-13. Далее определяли коэффициент  $m_2$ , аналогичный  $m_1$ .

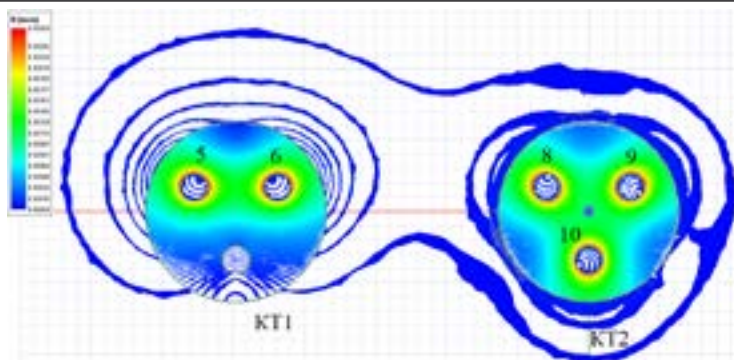


Рисунок 4 – Распределение магнитных полей вокруг токопроводов при протекании тока 600 А в шинах 5 и 6 КТ1 и шинах 6-8 КТ2 при наличии П-образного алюминиевого экрана в виде разомкнутого кольца

### Результаты и обсуждение

1 Экраны из стали уменьшают индукции МП как от токов в КТ1, так и от токов в шинах КТ2, причем соизмеримо. При этом они имеют большой вес (7–40 кг в зависимости от толщины стенки и диаметра).

2 Среди экранов из алюминия наиболее подходящим оказался П-образный экран в виде разомкнутого кольца (рисунок 2, в). Разрыв открывает доступ к КИ (важно при построении защиты, поскольку экран нужно приваривать к оболочке, чтобы не было зазоров), но должен находиться с противоположной от КТ1 стороны токопровода КТ2. Вес экрана в зависимости от его размеров составляет от 1 до 9,3 кг.

3 Этот экран не только уменьшает величину индукции МП, созданного токами в соседнем токопроводе, но и выполняет роль концентратора МП, созданных токами в шинах 8–10. При этом для рассматриваемых токопроводов коэффициент  $k$ , учитывающий увеличение индукции из-за наличия экрана, зависит от толщины его стенки и ширины, но не от диаметра. На рисунке 5 представлены зависимости  $k$  от толщины стенки для ширины 50, 100, 150 и 200 мм.

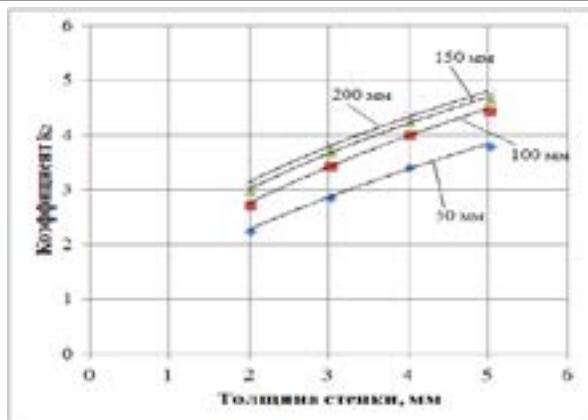


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента  $k$  от толщины стенки экрана при его ширине 50, 100, 150 и 200 мм

4 Максимальные величины коэффициента  $m_2$  (рассчитывается аналогично  $m_2$ , но при наличии экрана) при ширине П-образного экрана 50–200 мм и толщине стенки 2–5 мм для рассматриваемых токопроводов представлены на рисунке 6. Отметим, что  $m_2$ , как и  $k$ , не зависит от диаметра экрана.

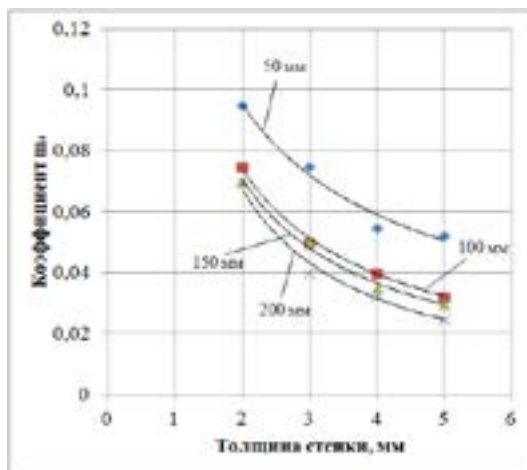


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента  $m_2$  от толщины стенки экрана при его ширине 50, 100, 150 и 200 мм



## Выводы

Предложенный П-образный экран в виде разомкнутого кольца позволяет снизить не менее, чем в три раза, влияние на катушки индуктивности МП, созданных токами двухфазного КЗ в шинах соседнего токопровода. При этом его вес не превышает 9,3 кг, и обеспечивается доступ к катушкам. Полученные зависимости коэффициентов  $m$  и  $k$  от геометрических параметров экрана позволяют легко подобрать его с нужными характеристиками.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Дорошев, К. И.** Токопроводы и шинопроводы для электростанций и подстанций [Текст]. – М. : Энергоатомиздат, – 1996. – 289 с.
- 2 **Васильев, А. А., Крючков., И. П., Наяшкова, Е. Ф.** Электрическая часть станций и подстанций [Текст]. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
- 3 **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения [Текст]. – М. : Высшая школа, 2006. – 639 с.
- 4 **Дьяков, А. Ф., Ишкин, В. Х., Мамиконянц, Л. Г., Семенов, В. А.** Электроэнергетика мира в начале XXI столетия (по матер. 39-й сессии СИГРЭ, Париж) [Текст] // Энергетика за рубежом. – М.: ЗАО Научно-техническая фирма «Энергопрогресс», – 2004. – Вып. 4–5. – 176 с.
- 5 **Kojović, L. A.** Non-conventional instrument transformers for improved substation design [Text] // CIGRE Session 46. – B3–101. – 2016.
- 6 **Kletsel, M. Ya.** Basics of construction of relay protection on reeds [Text] // Modern Development of Relay Protection and Power System Automation Systems. – Ekaterinburg, 2013. – P. 1–10.
- 7 **Kletsel, M., Zhantlesova, A., Mayshev, P., Mashrapov, B., Issabekov, D.** New filters for symmetrical current components [Text] // International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2018. – Vol. 101. – P. 85–91.
- 8 **Goryunov V., Kletsel M., Mashrapov B., Mussayev Zh., Talipov O.** Resource-saving current protections for electrical installations with isolated phase busducts [Text] // Alexandria Engineering Journal, 2021. – Vol. 61. – Issue. – 8 – P. 6061-6069.
- 9 **Kletsel M., Mashrapov, B., Mashrapova, R.** Protection without current transformers for electrical installations with three-phase bus ducts [Text] // Electric Power Systems Research, – 2025. – Vol. 240. – 111246.
- 10 **Машрапов, Б. Е., Мусаев, Ж. Б.** Определение индукции магнитного поля снаружи оболочки трехфазного токопровода [Текст] // Труды университета. – 2021. – №3. – С. 241–245.

## REFERENCE

1 **Doroshev K. I.** Tokoprovody i shinoprovody dlya elektrostantsiy i podstantsiy [Bus Ducts and Busbars for Power Plants and Substations] [Text]. – Moscow: Energoatomizdat, – 1996. – 289 p.

2 **Vasil'ev A. A., Kryuchkov I. P., Nayashkova E. F.** Elektricheskaya chast' stantsiy i podstantsiy [Electrical Part of Power Plants and Substations] [Text]. – Moscow: Energoatomizdat, – 1990. – 576 p.

3 **Andreev, V. A.** Relejnaya zashchita i avtomatika sistem elektrosnabzheniya [Relay protection and automation of power supply systems] [Text]. – M.: Vysshaya shkola, 2006. – 639 p.

4 **Diakov, A. F, Ishkin, V. Kh, Mamikonians, L. G, Semenov V. A.** Elektroenergetika mira v nachale XXI stoletia (po mater 39-i sessii SIGRE Parizh) [Electric power industry of the world at the beginning of the XXI century (based on the materials of the 39th session of CIGRE, Paris)] [Text] // Energy Abroad. – M.: CJSC Scientific and technical firm «Energoprogress». – 2004. – Issue 4–5. – 176 p.

5 **Kojović, L. A.** Non-conventional instrument transformers for improved substation design [Text] // CIGRE Session 46. – B3–101. – 2016.

6 **Kletsel, M. Ya.** Basics of construction of relay protection on reeds [Text] // Modern Development of Relay Protection and Power System Automation Systems. – Ekaterinburg, 2013. – P. 1–10.

7 ~~xxjx~~ **xxjx** New filters for symmetrical current components [Text] // International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2018. – Vol. 101. – P. 85–91.

8 **Goryunov V., Kletsel M., Mashrapov B., Mussayev Zh., Talipov O.** Resource-saving current protections for electrical installations with isolated phase busducts [Text] // Alexandria Engineering Journal, 2021. – Vol. 61. – Issue 8 – P. 6061–6069.

9 **Kletsel M., Mashrapov B., Mashrapova R.** Protection without current transformers for electrical installations with three-phase bus ducts [Text] // Electric Power Systems Research, – 2025. – Vol. 240. – 111246.

10 **Mashrapov B. E., Musaev Zh. B.** Opredelenie induksii magnitnogo polya snaruzhi obolochki trekhfaznogo tokoprovoda [Determination of the magnetic field induction outside the enclosure of a three-phase bus duct] [Text] // Trudy universiteta. – 2021. – No. 3. – P. 241–245.

Поступило в редакцию 29.09.25.

Поступило с исправлениями 29.09.25.

Принято в печать 05.12.25.

Р. М. Маширапова<sup>1</sup>, А. С. Барукин<sup>2</sup>,

\*Б. Е. Маширапов<sup>3</sup>, А. Ж. Динмуханбетова<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Торайғыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

29.09.25 ж. баспаға түсті.

29.09.25 ж. түзетулерімен түсті.

05.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **ИНДУКТИВТІК КАТУШКАЛАРДА НЕГІЗДЕЛГЕН ЖИНАҚЫ ТОКӨТКІЗГІШТІ ҚОРҒАУДЫ ҚҰРУҒА АРНАЛҒАН МАГНИТТІК ЭКРАНДЫ ТАҢДАУ**

Ферромагниттік өзекшелі дәстүрлі ток трансформаторларын көлемі анағұрлым шағын, құрылымы қарапайым және металды аз қажет ететін заманауи ток датчиктеріне ауыстырудың өзекті қажеттілігі нақты түрде атап көрсетіледі. Осындай датчиктердің орнына техника саласында кеңінен қолданыс тапқан индуктивтік катушкаларды пайдалануға болатыны айтылады. Индуктивтік катушкаларға негізделген жинақы токөткізгішті қорғау жүйесін құру бағытында қазіргі кезде қол жеткізілген маңызды нәтижелер қысқаша мазмұндалып берілген. Сонымен бірге, мұндай катушкаларды сыртқы магнит өрістерінің зиянды әсерінен сенімді қорғау үшін арнайы магниттік экрандар қолдану қажеттілігі көрсетіледі. Алюминийден және электротехникалық болаттан дайындалған бірнеше экран үлгілері ұсынылған: П-тәрізді сектор; П-тәрізді сақина (ашық немесе тұйық түрінде); сондай-ақ металл жолағынан жасалған тұтас сақина. Олардың экрандау қасиеттерін зерттеу әдістемесі егжей-тегжейлі сипатталады. Зерттеу нәтижесінде ең тиімдісі алюминийден жасалған П-тәрізді ашық сақина екендігі анықталды. Ол тұйық сақинаға қарағанда катушкаларға еркін қол жеткізуге мүмкіндік береді, П-тәрізді секторға қарағанда жақсырақ әрі сенімдірек қорғайды, ал электротехникалық болат сақинасына қарағанда салмағы әлдеқайда жеңіл П-тәрізді сақинаның геометриялық өлшемдеріне байланысты экрандау қасиеттерінің тәуелділіктері де келтірілген.

Кілтті сөздер: жинақы токөткізгіш, индуктивтік катушка, қорғау, магнит өрісі, экран.

R. M. Mashrapova<sup>1</sup>, A. S. Barukin<sup>2</sup>,

\*B. E. Mashrapov<sup>3</sup>, A. Zh. Dinmukhanbetova<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Toraighyrov University,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Received 29.09.25.

Received in revised form 29.09.25.

Accepted for publication 05.12.25.

## SELECTION OF A MAGNETIC SHIELD FOR CONSTRUCTING PROTECTION OF AN ENCLOSED BUS DUCT BASED ON INDUCTANCE COILS

*The necessity of replacing current transformers with ferromagnetic cores by more compact and less metal-consuming current sensors is emphasized. It is indicated that inductance coils, widely used in engineering, can serve as such sensors. The currently achieved results in developing protection of enclosed bus ducts based on inductance coils are briefly summarized. It is noted that magnetic shields are required to protect them from the influence of external magnetic fields. Several models of such shields made of aluminum and electrical steel are presented: a U-shaped sector; a U-shaped ring (either open or closed); and a ring made from a metal strip. The methodology for studying their shielding properties is described. It has been established that the most effective is an aluminum U-shaped shield in the form of an open ring. Unlike a similar closed ring, it provides access to the inductance coils. Compared with a U-shaped sector, it more effectively protects the inductance coils from external magnetic fields, and compared with a ring made from an electrical steel strip, it has a lower weight. The dependencies of the shielding properties of the shield on the geometric dimensions of the U-shaped ring are presented.*

*Keywords: enclosed bus duct, inductance coil, protection, magnetic field, shield.*

Теруге 17.12.2025 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

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

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4494

Сдано в набор 17.12.2025 г. Подписано в печать 30.12.2025 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 № 4494

«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