

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университетінің  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова

---

# ПМУ ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



# ВЕСТНИК ПГУ

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

№ 3 (2016)

---

Павлодар

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова

**Энергетическая серия**

выходит 4 раза в год

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**о постановке на учет средства массовой информации  
№ 14310-Ж

выдано

Министерством культуры, информации и общественного согласия  
Республики Казахстан**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.

*к.т.н., доцент*

Заместитель главного редактора

Леньков Ю. А., *к.т.н., доцент*

Ответственный секретарь

Акаев А. М.

**Редакция алкасы – Редакционная коллегия**

Алиферов А. И., *д.т.н., профессор (Россия)*  
 Боровиков Ю. С., *к.т.н., профессор (Россия)*  
 Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*  
 Горюнов В. Н., *д.т.н., профессор (Россия)*  
 Говорун В. Ф., *д.т.н., профессор*  
 Захаров И. В., *д.т.н., профессор*  
 Клещель М. Я., *д.т.н., профессор*  
 Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*  
 Тастенов А. Д., *к.т.н., доцент*  
 Хацевский В. Ф., *д.т.н., профессор*  
 Нургожина Б. В., *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и редамодатели  
 Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник ПГУ» обязательна

© ПГУ имени С. Торайгырова

**МАЗМҰНЫ**

<b>Анарбаев А. Е., Касимов А. О.</b>	
Электронды жүйелер мен кешендерге электромагниттік әсер етудің тежірибелік зерттеуі	9
<b>Аринов Е., Испулов Н. А.</b>	
Цилиндр пішінді вертикаль қуыс тау-кен жынысын қосымша күшсіз байыту кернеуі	17
<b>Бороденко В. А., Барукин А. С., Калтаев А. Г.</b>	
Қатушқасы бар геркондағы ауыспалы токтың етуін зерттеу	23
<b>Жумабеков А. Н., Жапаргазизова К. Х.</b>	
«Компания Нефтехим LTD» ЖШС-нда пропиленді полимеризациялау реакторларының өнімділігін арттыру	29
<b>Жұмажанов С. Қ., Оразова Г. Ө., Уразалимова Д. С.</b>	
Қазіргі уақытта энергетикалық секторда жұмыс жасайтын кәсіпорындарда ұйымдастыру қызметінің проблемалары	38
<b>Қадыров А. С., Балабекова К. Г.</b>	
Мобильді кепір етпесінің желілген модулінің сәйкестірілген элементтерін есептеу және конструкторлық шешу	41
<b>Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К.</b>	
Көлік операцияларға басқаруларға микропроцессорлық жүйелерде инфрақызыл датчиктермен объектілердің теңестіруі	52
<b>Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Кислов А. П.</b>	
Қорытынды кернеу вектор кеңістіктің жағдайын басқару үшін инвертордың кілттердің коммутациялау әдісі	62
<b>Канев А. Т., Богомолов А. В., Какимова Ж. Ж.</b>	
Арматуралық термиялық жолмен беріктендірілген болаттың коррозияның тұрақтылығының анализі	70
<b>Кислов А. П., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Антонцев А. В., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б.</b>	
Программаланатын логикалық контроллермен қазіргі өндірістердің бақылау, қорғау және басқаруды қамтамасыз етуі	78
<b>Кузнецова Н., Мустафина Р., Сарсикеев Е.</b>	
Бапталған орталардағы электр жарылыстың физика-математикалық моделін санды іске асырылуы	87
<b>Машрапов Б. Е., Талипов О. М., Бергузинов А. Н.</b>	
Төкөткізгіштің ішіндегі магнит өрісінің шамасын анықтау	98
<b>Новожилов А. Н., Волгина Е. М., Новожилов Т. А.</b>	
Магниттік ток трансформаторларын қорғау жөніндегі пилоттық зерттеу үшін орнату	105

УДК 621.316.925.1

**Б. Е. Машрапов<sup>1</sup>, О. М. Талипов<sup>2</sup>, А. Н. Бергузинов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> доктор PhD, <sup>2</sup> докторант, <sup>3</sup> магистр, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар  
e-mail: 'bokamashrapov@mail.ru

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВНУТРИ ТОКОПРОВОДА

*Существующие методики определения координат установки геркона вблизи шин электроустановки не учитывают влияние магнитных полей, созданных токами в оболочке комплектных токопроводов. Для того, чтобы учесть влияние этих полей, необходимо знать их величины. Цель работы – определить величины магнитных полей, созданных токами в оболочке токопровода. Для достижения цели были проведены натурные эксперименты на токопроводе типа ТЭНЕ. Результаты экспериментальных исследований показали, что магнитное поле, созданное током в оболочке токопровода, не превышает 7 % от магнитного поля, созданного током в шине.*

*Ключевые слова: геркон, индукция, величина, токопровод, оболочка.*

### ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия разработан ряд защит [1, 2, 3, 4, 5, 6], принцип действия которых основан на срабатывании геркона, помещенного вблизи токопроводов фаз электроустановки, от магнитного поля (МП), возникающего в электроустановке при коротком замыкании, а также конструкции для крепления герконов внутри комплектных распределительных устройств (КРУ) и токопроводов [7]. Имеется методика расчета тока срабатывания защит с учетом влияния МП, созданных токами в соседних фазах [8]. Однако влияние МП, созданных токами в оболочке комплектных пофазно-экранированных токопроводов, не учитываются. В данной работе предлагаются результаты экспериментального исследования распределения МП и его величины внутри токопровода типа ТЭНЕ-СЩ-20-11250-400 УХЛ1 в зависимости от расстояния от точки заземления его оболочки до места установки геркона.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

*Область применения комплектного токопровода ТЭНЕ. Пофазно-экранированные токопроводы, как известно, применяются для соединений: в цепях электростанций; преобразовательных трансформаторов;*

трансформаторных подстанций; турбогенератора (мощность до 500 МВт) с повышающими силовыми трансформаторами (рис. 1); трансформаторов тиристорного возбуждения генераторов и т.д.

Рассматриваемые токопроводы выполняются отдельными секциями разной конфигурации, стыковка которых осуществляется путем дуговой сварки. В пофазно-экранированном токопроводе может быть предусмотрена система наддува, которая повышает его надежность. По концам трасс токопроводов соединяют привариваемыми к ним перемычками, которые в большинстве случаев выполняются из алюминиевого листа того же сечения и марки, что и сама оболочка. Для заземления оболочки перемычку присоединяют к общему контуру заземления электрической станции. Места крепления каждого монтажного блока токопровода своими опорами надежно изолируются от опорных заземленных балок строительных металлоконструкций, переходных пластин и швеллеров при помощи изоляционных втулок и прокладок для возможности измерения электрического сопротивления изоляции без разборки узла крепления токопровода. При этом оболочки пофазно-экранированного токопровода образуют замкнутую трехфазную систему, в которой при работе токопровода индуцируются токи, приблизительно равные рабочим токам. Эти токи протекают вдоль оболочек, равномерно распределяясь по их образующей, и переходят по концам токопроводов из оболочки одной фазы в оболочку двух других фаз, создавая внутри токопровода дополнительное магнитное поле.

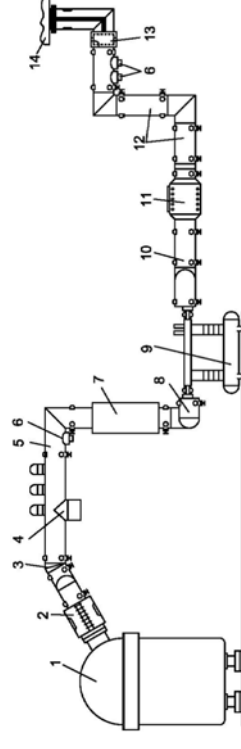


Рисунок 1 – Компоновка трассы пофазно-экранированного токопровода ТЭНЕ-20 энергоблока турбогенератора мощностью 300 МВт

- 1 – силовой трансформатор; 2 – разъемный элемент соединения со смотровым окном; 3 – элемент соединения под углом 150°; 4 – разрядник;
- 5 – блок отпайки к трансформатору с разрядником; 6 – трансформатор напряжения; 7 – блок с разъемным элементом; 8 – элемент соединения с выключателем; 9 – выключатель воздушный; 10 – блок с заземляющим разъединителем; 11 – блок с трансформаторами тока; 12 – блок прямолнейный; 13 – блок с проходными изоляторами; 14 – генератор

**Лабораторная установка.** Для измерения величины индукции магнитного поля внутри токопровода была собрана установка (рисунок 2а). К источнику переменного тока (1) напряжением 220 В через регулятор напряжения РНО-220-25 (2) подключена первичная обмотка нестандартного нагрузочного трансформатора (3). К вторичной обмотке этого трансформатора с помощью восьми соединительных кабелей (4) одинаковой длины присоединены шина (5) и оболочка (6) токопровода, причем и на шине и на оболочке имеется по четыре точки подключения, две на одном конце, две – на другом. При этом точки с одного конца располагаются диаметрально противоположно, а все восемь точек лежат в плоскости горизонтального продольного сечения токопровода. Токопровод установлен таким образом, чтобы его торец находился напротив нагрузочного трансформатора (3), а кабели пролетали вдоль него по бокам. Такое расположение токопровода и прокладка кабелей позволяют уравнивать внешние магнитные поля вокруг токопровода и, тем самым, уменьшить их влияние на результат измерений. Для измерения величины индукции магнитного поля внутри комплектного токопровода использовалась катушка индуктивности (7) (рис. 2б) с количеством витков  $W=10000$ . Для ее установки внутри токопровода разработана и собрана конструкция (8) в виде цилиндра с отверстиями для катушки индуктивности (КИ) и шины (6), причем его диаметр во много раз больше высоты. При этом отверстия для установки КИ расположены по окружности на расстоянии 5 и 12 см от внутренней стенки оболочки. Измерение токов в шине и оболочке осуществляется трансформатором тока (9) типа ТТЭ 125 с коэффициентом трансформации 4000/5 и мультиметром (10) типа Fluke 87V, величины ЭДС на выводах катушки индуктивности – мультиметром (11) типа Fluke 87V.

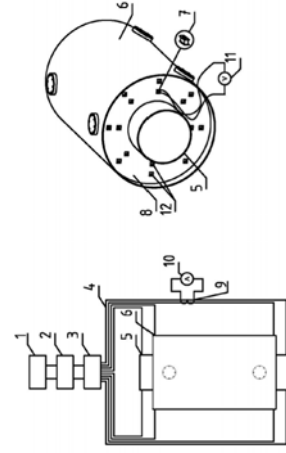


Рисунок 2 – Лабораторная установка для измерения магнитного поля внутри токопровода ТЭНЕ  
 2а – вид сверху; 2б – токопровод с надетой на шину конструкцией для крепления катушки индуктивности

**Эксперимент.** Разработанная конструкция (8) надевается на шину (рис. 2б) и устанавливается по середине ее длины, которая совпадает с серединой длины оболочки. Затем в одно из отверстий (12) конструкции устанавливается КИ, к выводам которой подключается мультиметр Fluke 87V. После указанных мероприятий в шину и оболочку подается ток 200 А и, переставляя КИ из одной ячейки в другую, определяется в какой из них ЭДС на ее выводах имеет максимальное значение на расстоянии 5 и 12 см от внутренней стенки оболочки. Конструкция перемещается вдоль шины на 100 мм и измерения повторяются, продолжая фиксировать максимальное значение ЭДС. Указанные операции осуществляются до тех пор, пока конструкция не достигнет конца оболочки токопровода. Затем отключается шина и все указанные выше операции повторяются, при пропускании тока 200 А только по оболочке, и наоборот. После этого шина и оболочка присоединяются к нагрузочному трансформатору, но изменяется направление тока в шине, т.е. кабели, подключенные к одному концу шины присоединяются к другому, и эксперимент повторяется. По измеренным значениям ЭДС определяется индукция магнитного поля и результаты сводятся в таблицу 1. Аналогично выполняются измерения при токе 600 А, и результаты сводятся в таблицу 2.

Таблица 1 – Величины индукции магнитного поля внутри комплектного токопровода при протекании по шине и оболочке тока 200 А

Расстояние от места установки до середины токопровода, мм	Расстояние от оболочки КИ до середины токопровода, мм	Индукция магнитного поля внутри токопровода при сонаправленном протекании токов в шине и оболочке, Тл	Индукция магнитного поля внутри токопровода при противоположном направлении токов в шине и оболочке, Тл	Индукция магнитного поля внутри токопровода при протекании тока только в оболочке, Тл	Индукция магнитного поля внутри токопровода при протекании тока только в оболочке, Тл
0	50	$1,05 \cdot 10^{-4}$	$1,03 \cdot 10^{-4}$	$0,96 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$
	120	$1,31 \cdot 10^{-4}$	$1,28 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
100	50	$1,03 \cdot 10^{-4}$	$1,04 \cdot 10^{-4}$	$0,96 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$
	120	$1,29 \cdot 10^{-4}$	$1,29 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
200	50	$1,02 \cdot 10^{-4}$	$1,02 \cdot 10^{-4}$	$0,96 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$
	120	$1,28 \cdot 10^{-4}$	$1,27 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
300	50	$1,02 \cdot 10^{-4}$	$10,3 \cdot 10^{-4}$	$0,96 \cdot 10^{-4}$	$2,43 \cdot 10^{-6}$
	120	$1,28 \cdot 10^{-4}$	$1,28 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
400	50	$1,02 \cdot 10^{-4}$	$1,02 \cdot 10^{-4}$	$0,96 \cdot 10^{-4}$	$2,82 \cdot 10^{-6}$
	120	$1,28 \cdot 10^{-4}$	$1,28 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$
500	50	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$	$0,96 \cdot 10^{-4}$	$4,27 \cdot 10^{-6}$
	120	$1,29 \cdot 10^{-4}$	$1,31 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$2,76 \cdot 10^{-6}$
600	50	$1,07 \cdot 10^{-4}$	$1,11 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$	$9,84 \cdot 10^{-6}$
	120	$1,33 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,31 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-6}$

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Клецель, М. Я., Мусин, В. В.** О построении на герконах защит высоковольтных установок без трансформаторов тока // Электротехника, 1987. – № 4. – С. 11-13.
- 2 **Клецель, М. Я.** Свойства герконов при использовании их в релейной защите // Электротехника, 1993. – № 9. – С. 18-21.
- 3 **Клецель, М. Я., Майшев, П. Н.** Особенности построения на герконах дифференциальнофазных защит трансформаторов // Электротехника, 2007. – № 12. – С. 2-7.
- 4 **Клецель, М. Я.** Основы построения релейной защиты на герконах. Современное направление развития релейной защиты и автоматики энергосистем // Сборник докладов конференции, SIGRE, Екатеринбург, 2013.
- 5 **Клецель, М. Я., Жуламанов, М. А.** Реле сопротивления на герконах // Электротехника, 2004. – № 5. – С. 38-44.
- 6 **Клецель, М. Я.** Принципы построения и модели дифференциальных защит электроустановок на герконах // Электротехника, 1991. – № 10. – С. 47-50.
- 7 **Клецель, М. Я., Бергузинов, А. Н., Махрапов, Б. Е., Талипов, О. М.** Инновационный патент. Устройство для крепления герконов в отсеках комплектных распределительных устройств (КЗ № 30578, Н02Н 3/08, 2014/1780.1, 02.12.2014, №11, 16.11.2015).
- 8 **Клецель, М. Я., Мусин, В. В.** Выбор тока срабатывания максимальной токовой защиты без трансформаторов тока на герконах // Промышленная энергетика, 1990. – № 4. – С. 32-36.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что при установке КИ на расстоянии 750, 600 и 500 мм от центра токопровода сильное влияние на величину индукции магнитного поля внутри него оказывают точки подключения к нему кабелей. При удалении КИ от конца токопровода (от места подключения кабелей) влияние точек подключения уменьшается и при расположении КИ на расстоянии меньше 350 мм от конца – практически отсутствует. При этом МП, созданное токами в оболочке, накладывается на МП, созданное током в шине, и увеличивает его на 5-7 % независимо от направления токов в них.

Таблица 2 – Величины индукции магнитного поля внутри комплектного токопровода при протекании по шине и оболочке тока 600 А

Расстояние от места установки середины токопровода, мм	Индукция магнитного поля внутри токопровода при сопротивленном протекании токов в шине и оболочке, Тл	Индукция магнитного поля внутри токопровода при протекании тока только в шине, Тл	Индукция магнитного поля внутри токопровода при протекании тока только в оболочке, Тл	Индукция магнитного поля внутри токопровода при протекании тока только в оболочке, Тл
0	3,01*10 <sup>-4</sup>	3,0*10 <sup>-4</sup>	2,85*10 <sup>-4</sup>	5,57*10 <sup>-6</sup>
120	3,77*10 <sup>-4</sup>	3,74*10 <sup>-4</sup>	3,54*10 <sup>-4</sup>	4,72*10 <sup>-6</sup>
100	3,02*10 <sup>-4</sup>	3,01*10 <sup>-4</sup>	2,85*10 <sup>-4</sup>	6,03*10 <sup>-6</sup>
120	3,78*10 <sup>-4</sup>	3,8*10 <sup>-4</sup>	3,54*10 <sup>-4</sup>	5,18*10 <sup>-6</sup>
200	3,04*10 <sup>-4</sup>	3,01*10 <sup>-4</sup>	2,89*10 <sup>-4</sup>	6,3*10 <sup>-6</sup>
120	3,8*10 <sup>-4</sup>	3,76*10 <sup>-4</sup>	3,57*10 <sup>-4</sup>	5,24*10 <sup>-6</sup>
300	3,06*10 <sup>-4</sup>	3,02*10 <sup>-4</sup>	2,95*10 <sup>-4</sup>	7,54*10 <sup>-6</sup>
120	3,83*10 <sup>-4</sup>	3,79*10 <sup>-4</sup>	3,6*10 <sup>-4</sup>	5,73*10 <sup>-6</sup>
400	3,05*10 <sup>-4</sup>	3,09*10 <sup>-4</sup>	2,95*10 <sup>-4</sup>	8,26*10 <sup>-6</sup>
120	3,8*10 <sup>-4</sup>	3,83*10 <sup>-4</sup>	3,66*10 <sup>-4</sup>	5,9*10 <sup>-6</sup>
500	3,14*10 <sup>-4</sup>	3,2*10 <sup>-4</sup>	3,03*10 <sup>-4</sup>	13,44*10 <sup>-6</sup>
120	3,87*10 <sup>-4</sup>	3,97*10 <sup>-4</sup>	3,74*10 <sup>-4</sup>	8,72*10 <sup>-6</sup>
600	3,24*10 <sup>-4</sup>	3,44*10 <sup>-4</sup>	3,26*10 <sup>-4</sup>	27,6*10 <sup>-6</sup>
120	3,95*10 <sup>-4</sup>	4,26*10 <sup>-4</sup>	3,99*10 <sup>-4</sup>	14,62*10 <sup>-6</sup>
750	3,36*10 <sup>-4</sup>	4,59*10 <sup>-4</sup>	3,88*10 <sup>-4</sup>	60,1*10 <sup>-6</sup>
120	4,39*10 <sup>-4</sup>	5,33*10 <sup>-4</sup>	4,7*10 <sup>-4</sup>	37,17*10 <sup>-6</sup>

Материал поступил в редакцию 16.09.16.

*Б. Е. Махрапов, О. М. Талипов, А. Н. Бергузинов*

## Токөткізгіштің ішіндегі магнит өрісінің шамасын анықтау

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.  
Материал 16.09.16 баспаға түсті.

*B. E. Mashrapov, O. M. Talipov, A. N. Berguzinov*

## Determination of the magnetic field inside an electrical pathway

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.  
Material received on 16.09.16.

Теруге 19.09.2016 ж. жіберілді. Басуға 29.09.2016 ж. қол қойылды.  
Форматы 70x100 1/16. Кітап-журнал қағазы.  
Көлемі шартты 11,5 б.т. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.  
Компьютерде беттеген: А. Елемесқызы  
Корректорлар: А. Р. Омарова, Б. Б. Ракишева  
Тапсырыс № 2890

Сдано в набор 19.09.2016 г. Подписано в печать 29.09.2016 г.  
Формат 70x100 1/16. Бумага книжно-журнальная.  
Объем 11,5 ч.-изд. л. Тираж 300 экз. Цена договорная.  
Компьютерная верстка: А. Елемесқызы  
Корректоры: А. Р. Омарова, Б. Б. Ракишева  
Заказ № 2890

«КЕРЕКУ» баспасынан басылып шығарылған  
С. Торайғыров атындағы  
Павлодар мемлекеттік университеті  
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«КЕРЕКУ» баспасы  
С. Торайғыров атындағы  
Павлодар мемлекеттік университеті  
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.  
67-36-69  
e-mail: kereku@psu.kz