

Торайғыров университетінің  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2020)

---

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

KZ19VRY00029272

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**

---

**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.

*к.т.н., доцент*

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

**Редакция алқасы – 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., *к.т.н., доцент (Россия)*  
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*  
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*  
Шокубаева З. Ж. *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

**Н. А. Терещенко, В. Ю. Мирошник,  
Д. А. Поляков, К. И. Никитин**

Омский государственный технический университет,  
Российская Федерация, г. Омск

## **РЕЗИСТОРНЫЙ ДАТЧИК ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОДВЕСНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ ВЛЭП**

*Представлен обзор существующих способов мониторинга и диагностики изоляторов воздушной линии электропередачи (ВЛЭП). Актуальность вызвана переходом электроэнергетической отрасли к цифровизации и автоматизации процессов. Авторы предлагают резисторный датчик для диагностики изоляторов. Он подключается последовательно к изолятору. Изготовлен экспериментальный образец, проведены эксперименты с фарфоровыми и стеклянными изоляторами, по которым удалось зафиксировать разницу в токах утечки между неповрежденными и поврежденными изоляторами.*

*Ключевые слова: изолятор, ток утечки, переменное напряжение, резистор.*

### **Введение**

В настоящее время одной из основных задач электроэнергетики является повышение надежности энергосистемы. Одним из важнейших компонентов в электроэнергетике является изолятор высокого напряжения, который предназначен для изолирования проводников от заземленной опоры и обеспечения механической опоры для линий электропередач. На наружный изолятор сильно влияют различные факторы как механические, так и окружающей среды, например, тип материала, схема установки, степень загрязнения. В следствии данного воздействия изоляторы становятся восприимчивыми к току утечки большой величины и приводят к увеличению активности разряда над его поверхностью. Таким образом, эти условия могут привести к нежелательному пробое изолятора, что повлечет прерывание электроэнергии. Следовательно, мониторинг и диагностика изоляторов требует значительного внимания. Поэтому изоляторы необходимо регулярно проверять. Расположение и высокое напряжение делают этот процесс очень

трудным для физического исследования. Особенно, когда рассматривать изоляторы на линии электропередачи, проходящей через горную местность, болотистые места и т.д. В связи с вышесказанным, тема актуальна по разработке новых и совершенствованию имеющихся систем мониторинга и диагностики высоковольтных изоляторов.

В источнике [1] описан метод, позволяющий прогнозировать степень загрязнения изолятора по соотношению 3, 5 и 7 составляющих высших гармоник тока утечки.

Авторы [2] предлагают датчик тока утечки изолирующей гирлянды, основанный на волоконной решетке Брэгга (ВБР). Принципиальная схема датчика тока утечки изолирующей гирлянды состоит из двух частей: части сбора тока и части преобразования тока. Часть сбора тока основана на двух токопроводящих токоприемниках и проводах; поскольку сопротивление спиральной катушки намного меньше, чем внутреннее сопротивление изолятора, большая часть тока вводится в спиральную катушку путем соединения катушки параллельно с последним изолятором гирлянды изоляторов, тем самым «замыкая» цепь накоротко. Блок преобразования тока основан на спиральной катушке, магните и двух ВБР, закрепленных с обеих сторон балки кантилевера. Когда большая часть тока утечки вводится в спиральную катушку, катушка генерирует магнитное поле. При изменении тока утечки изменения магнитной индукции вызывают изменение силы отталкивания магнита на балке кантилевера, что приводит к изменению деформации ВБР. Ток утечки можно получить, отслеживая изменения напряжения в ВБР.

В [3] авторы представляют систему беспроводного сбора данных на базе микроконтроллера для мониторинга тока утечки и напряжения в электрооборудовании высоковольтных сетях подстанций с платформой LabVIEW для непрерывного мониторинга и обработки данных в реальном времени. Блок передачи WLAN TX/RX состоит из компонента формирования сигнала, микроконтроллера, модуля приемопередатчика. Система работает на солнечной энергии с автономным питанием.

Авторы источника [4] применяют катушку Роговского, установленную на штыре изолятора или вокруг металлического держателя. Между изолятором и катушкой вставлен тонкий полимерный слой для предотвращения прямого контакта. При дефекте или загрязнении изолятора ток утечки протекает по поверхности его и также проходит через штырь изолятора, образуя магнитное поле вокруг штифта изолятора. Это магнитное поле взаимодействует с обмоткой катушки Роговского и возникает электродвижущая сила (ЭДС) генерирующаяся через катушку. В этот момент образуется сигнал напряжения из-за наличия емкостного эффекта

между выводом и обмоткой катушки. Однако другой сигнал исходит из-за электромагнитной индукции вследствие протекания тока утечки через поверхность изолятора.

Ну а поскольку основной показатель целостности изолятора является контроль тока утечки  $I_U$ , то авторы предлагают использовать этот фактор на практике [5].

Цель работы: создание беспроволочного резистора для датчика тока, с помощью которого можно будет отслеживать ток утечки изолятора под напряжением и нагрузкой. Для достижения цели были поставлены и решены задачи: изготовить беспроволочный резистор, произвести испытания, проанализировать результаты.

### Результаты и обсуждения

В источнике [6] обозначено, что допустимый предел тока утечки для наружных изоляторов не имеет установленных стандартов или фиксированных значений. Причина в том, что наружный изолятор установлен на ЛЭП, поэтому их предел тока утечки устанавливается на основе их степени безопасности. Следовательно, допустимое значение тока утечки не может быть определено строго, однако предел можно выявить за счет закономерности мощности. Этот предел варьируется как внутри страны, так и между странами. Максимально допустимый предел тока утечки для линии передачи составляет 100 мА, что определяется в зависимости от типа изолятора, его номинального напряжения и потерь в ЛЭП. В сухую погоду диапазон тока утечки составляет от нескольких микроампер до 5 мА. Если среда влажная, то наблюдаются пики до 50 мА при учете безопасного эксплуатации [7].

Авторы предлагают датчик для диагностики тока утечки изолятора, состоящего из резистора и диагностического устройства (рисунок 1).

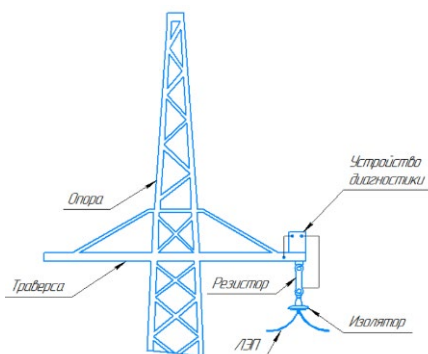


Рисунок 1 – Резисторный датчик для диагностики изоляторов

Беспроволочный резистор крепится одним концом к траверсе, другим концом к изолятору, а диагностическое устройство подключается к установленному резистору. Диагностическое устройство состоит из аналого-цифрового преобразователя и передатчика. Питание устройства осуществляется от аккумуляторной батареи и солнечного электрического элемента.



Рисунок 2 – Экспериментальный образец резистора

Беспроволочный резистор представлен в виде цепочки из семи стандартных (МЛТ-2) резисторов величиной около 3 кОм, помещённых в кабель–канал и залитых эпоксидной смолой. Чтобы смоделировать работу изолятора под напряжением, измерить в нем ток утечки  $I_u$  была собрана схема (рисунок 3) и проведен эксперимент.

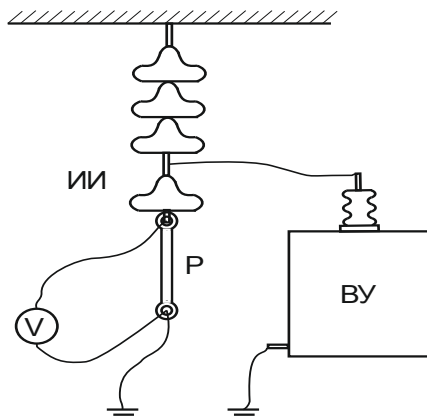


Рисунок 3 – Схема эксперимента (ВУ – высоковольтная установка, Р – резисторный датчик, ИИ – испытываемый изолятор, V – вольтметр)

Измеряя вольтметром  $V$  напряжение на резисторном датчике  $R$  и зная его величину, нетрудно вычислить ток утечки изолятора:

$$I_y = \frac{U_p}{R_p},$$

где  $U_p$  – падение напряжения, снимаемое вольтметром с резистора, В;  $R_p$  – сопротивление беспроводного резистора, Ом.

Проведя ряд экспериментов с изоляторами (ШС10Е, ПС70Е, ШФ20Г и ШФ10Г) были получены результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Экспериментальные данные для определения  $I_y$

Изолятор	$U$ , кВ		$U_p$ , В		Рассчитанный $I_y$ утечки, мкА	
	10	20	2,640	5,714	127	275
ШФ20Г	10	20	2,640	5,714	127	275
ШФ10Г	10	20	2,023	5,714	97	275
ШС10Е	10	20	2,857	7,075	137	340
ПС70Е	10	20	4,177	9,498	201	457

На испытываемые изоляторы подавалось напряжение  $U$  переменного тока (промышленной частоты) 10 кВ и 20 кВ, фиксировалось значение напряжения на резисторе  $U_p$  мультиметром. Величина резистора в эксперименте составила 20,8 кОм.

### Выводы

Последовательное подключение беспроводного резистивного датчика к подвесному изолятору позволило зафиксировать ток утечки порядка нескольких десятков микроампер в реальном времени и под нагрузкой. Применение датчика тока с беспроводным резистором для диагностики изоляторов под напряжением позволит освободить от участия персонал, уменьшит затраты на восстановление системы, т. к. позволит контролировать срок старения изоляции, по которому можно предотвратить выход из строя изолятора до его повреждения. Таким образом, данный способ диагностики изоляторов позволит повысить эффективность и надежность энергетической системы.

### Список использованных источников

1 **Salem, A. A. et al.** The Leakage Current Components as a Diagnostic Tool to Estimate Contamination Level on High Voltage Insulators // IEEE Access. – 2020. – V. 8. – P. 92514–92528.

2 **Yan, Z. et al.** Insulator string leakage current-monitoring sensor based on fiber Bragg grating // Optics express. – 2018. – V. 26. – №. 19. – P. 24940–24952.

3 **Harid, N. et al.** A wireless system for monitoring leakage current in electrical substation equipment // IEEE Access. – 2016. – V. 4. – P. 2965–2975.

4 **Ibrahim, M. E., Abd-Elhady, A. M.** Rogowski Coil Transducer Based Condition Monitoring of High Voltage Insulators // IEEE Sensors Journal. – 2020.

5 **Никитин, К. И., Поляков, Д. А., Довбня, Б. Я., Клецель, М. Я., Максимов, В. М.** Патент РФ № 2608335, МПК G01R 19/00, Оптико-электронный датчик тока и напряжения, Заявлено 29.04.2015; Оpubл. 17.01.2017, Бюл. № 2. – с.: ил

6 International Electrotechnical Commission, Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion» 2007.; Владимирский Л. Л. Система выбора внешней изоляции электроустановок высокого напряжения [External insulation selection system for high-voltage electrical installations] // Электрооборудование : эксплуатация и ремонт. – 2019. – №. 1. – С. 37–51.

7 **Ahmed, R. et al.** Online Condition Monitoring and Leakage Current Effect Based on Local Area Environment // Transactions on Electrical and Electronic Materials. – 2020. – P. 1–6.

## References

1 **Salem, A. A. et al.** The Leakage Current Components as a Diagnostic Tool to Estimate Contamination Level on High Voltage Insulators. In IEEE Access. – 2020. – V. 8. – P. 92514–92528.

2 **Yan, Z. et al.** Insulator string leakage current-monitoring sensor based on fiber Bragg grating. In Optics express. – 2018. – V. 26. – № 19. – P. 24940–24952.

3 **Harid, N. et al.** A wireless system for monitoring leakage current in electrical substation equipment. In IEEE Access. – 2016. – V. 4. – P. 2965–2975.

4 **Ibrahim, M. E., Abd-Elhady, A. M.** Rogowski Coil Transducer Based Condition Monitoring of High Voltage Insulators. In IEEE Sensors Journal. – 2020.

5 **Nikitin, K. I., Polyakov, D. A., Dovbnya, B. YA., Klecel', M. YA., Maksimov, V. M.** Patent RF № 2608335, МПК G01R 19/00. Optiko-elektronnyj datchik toka i napryazheniya [Optoelectronic current and voltage sensor]. Zayavleno 29.04.2015; Opubl. 17.01.2017, Byul. № 2. – с.: ил

6 International Electrotechnical Commission. Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion. 2007.; Vladimirsij L. L. Sistema vybora vneshnej izolyacii elektroustanovok vysokogo napryazheniya In Elektrooborudovanie : ekspluataciya i remont. – 2019. – №. 1. – P. 37–51.

7 **Ahmed, R. et al.** Online Condition Monitoring and Leakage Current Effect Based on Local Area Environment. In Transactions on Electrical and Electronic Materials. – 2020. – P. 1–6.



Материал поступил в редакцию 30.09.20.

*Н. А. Терещенко, В. Ю. Мирошник, Д. А. Поляков, К. И. Никитин***ӘЭЖ аспалы изоляторларын диагностикалауға арналған резисторлық датчик**Омск мемлекеттік техникалық университеті,  
Ресей Федерациясі, Омбы қ.  
Материал 30.09.20 баспаға түсті.*N. A. Tereshchenko, V. Yu. Miroshnik, D. A. Polyakov, K. I. Nikitin***Unit protection device «Rectifier transformers» electrolysis production and AC circuits**Omsk State Technical University,  
Russia Federation, Omsk.  
Material received on 30.09.20.

*Электр берудің әуе желісінің (ӘЭЖ) изоляторларын мониторингтеу мен диагностикалаудың қолданыстағы тәсілдеріне шолу ұсынылған. Өзектілік электр энергетикасы саласының процестерді цифрландыру мен автоматтандыруға көшуінен туындады. Авторлар изоляторларды диагностикалау үшін резистор сенсорын ұсынады. Ол изоляторға кезекпен қосылады. Эксперименттік үлгі жасалды, фарфор және шыны изоляторлармен эксперименттер жүргізілді, олар арқылы бүлінбеген және зақымдалған изоляторлар арасындағы ағып кету токтарындағы айырмашылықты түзетуге болады.*

*Кілтті сөздер: изолятор, ағып кету тогы, ауыспалы кернеу, резистор.*

*Electricity supply for electrolysis production is most often carried out using a regulating transformer and a rectifier transformer unit. Traditionally, protection of transformers with busbars against short circuits is carried out by means of overcurrent protection, overcurrent cutoff, differential protection and gas protection. However, each of these protections has certain disadvantages. The article proposes a protection device for the rectifier transformer block of the electrolysis production and the alternating current conductor using magnetic current transformers.*

*Keywords: electrolysis, transformer, current lead, magnetic current transformer, relay protection.*

Теруге 30.09.2020 ж. жіберілді. Басуға 14.10.2020 ж. қол қойылды.  
Электронды баспа  
2,99 Мб RAM  
Шартты баспа табағы 23,30. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.  
Компьютерде беттеген: А. Елемесқызы  
Корректор: А. Р. Омарова  
Тапсырыс № 3707

Сдано в набор 30.09.2020 г. Подписано в печать 14.10.2020 г.  
Электронное издание  
2,99 Мб RAM  
Усл. печ. л. 23,30. Тираж 300 экз. Цена договорная.  
Компьютерная верстка: А. Елемесқызы  
Корректор: А. Р. Омарова  
Заказ № 3707

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған  
«Торайғыров университет»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы  
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы  
«Торайғыров университет»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы  
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.  
8 (7182) 67-36-69  
e-mail: kereku@tou.edu.kz  
www.vestnik.tou.edu.kz