

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 (2024)

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/MEBG1583>

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>
Кошкеков 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>
Омарова А. Р.	<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

МРНТИ 44.29.31

<https://doi.org/10.48081/ODWM8990>

**Ж. Б. Исабеков¹, О. М. Талипов²,
А. Б. Хусаинова³, Л. Б. Тюлюгенова⁴, *А. Б. Жантлесева⁵**

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

⁵ Казахский государственный университет им. С. Сейфуллина,

Республика Казахстан, г. Астана

¹ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-3980-1617>

²ORCID:<https://orcid.org/0000-0001-7530-5034>

³ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>

⁴ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-7632-3098>

⁵ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-3730-0579>

*e-mail:asbizh@mail.ru

ЗАЩИТА СИЛОВОГО КАБЕЛЯ СОЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПЛАВУЧЕЙ ПЛАТФОРМЫ ОТ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

В данной статье рассматривается вопрос совершенствования защиты четырехжильного силового кабеля соледобывающей плавучей платформы оснащенной автоматическим выключателем с независимым расцепителем. Совместное использование этого автоматического выключателя и предлагаемого устройства защиты позволяет не только надежно защитить силовую кабель плавучей платформы от всех видов короткого замыкания в нем, но и обслуживающий персонал этой платформы от поражения электрическим током при возникновении однофазного замыкания на землю, возникающего в водной среде водоема. Это достигается за счет того, что устройство защиты от однофазного замыкания на землю имеет датчик напряжения, выполненный в виде металлического кольца на силовом кабеле и реле напряжения. При этом один из выводов обмотки реле напряжения с помощью одножильного контрольного кабеля присоединен к датчику

напряжения, а другой к нейтрали источника питания соледобывающей плавучей платформы. В свою очередь нормально разомкнутые контакты этого реле напряжения присоединяются к электрической цепи из источника питания и катушки независимого расцепителя автоматического выключателя. Что позволяет предлагаемому устройству защиты силового кабеля соледобывающей плавучей платформы надежно реагировать на возникновение однофазного замыкания на землю при повреждении изоляции кабеля, находящегося в водной среде водоема.

Ключевые слова: плавучая платформа, четырехжильный кабель, нейтраль, устройство защиты, автоматический выключатель, датчик напряжения.

Введение

В низковольтных сетях напряжением 380 В для питания передвижающихся по земле и воде электроустановок используется резиновый четырехпроводный кабель. При этом сеть выполняется с глухо заземленной нейтралью. При этом, как правило, нейтраль со стороны источника питания заземляется [1;2]. Такое исполнение сети позволяет использовать для питания трехфазных и однофазных электроустановок как междуфазное, так и фазное напряжения.

В связи с этим в электроустановках, передвижающихся по земле, повреждение оболочки кабеля и изоляции одной из жил кабеля не вызывает короткого замыкания (КЗ). Повреждение изоляции двух или трех жил этого кабеля сопровождается возникновением в месте повреждения трехфазного, двухфазного или однофазного КЗ [3;4;5]. Токи КЗ в жилах кабеля значительно превышают токи в них в нормальных режимах работы электроустановки. Поэтому в соответствии с ПУЭ [6] для защиты таких сетей от КЗ следует использовать аппараты защиты [7] в виде предохранителей [8] или автоматических выключателей [9].

В сети передвижной низковольтной соледобывающей платформы повреждение оболочки кабеля и изоляции нескольких жил кабеля также сопровождается возникновением разного вида КЗ. Однако, при одновременном повреждении оболочки кабеля и изоляции только одной из фазных жил кабеля возникает однофазное замыкание на землю. Токи при

таким замыкании значительно меньше номинальных токов электроустановки, так как в этом случае замыкание происходит через землю и солевой раствор водоема. Поэтому на их появление аппараты защиты в виде предохранителей или автоматических выключателей не реагируют.

В соответствии с [10;11] основным способом защиты от однофазного замыкания на землю и защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током в передвижных электроустановках является постоянный контроль изоляции кабеля относительно земли в сочетании с быстродействующим защитным отключением. Для осуществления такого контроля изоляции в сетях напряжением 230 В или 380 В в сетях промышленной частоты может использоваться аппарат типа ПКИ-2. Он подключается к фазам источника питания и его корпусу. Его работа основана на измерении напряжения между искусственно созданной нулевой точкой и корпусом. Что ограничивает его область применения, так как в сети соледобывающей платформы обычно используется однофазная нагрузка в виде освещения, приводящая к смещению искусственно созданной нулевой точкой, а, следовательно, к ложной работе ПКИ-2.

Этого недостатка лишено устройство защиты четырехжильного силового кабеля соледобывающей плавучей платформы от однофазного замыкания, работа которого основана на измерении напряжения между заземленной нейтралью источника питания и точкой замыкания, расположенной на поверхности соленой воды в водоеме.

Материалы и методы

Внешний вид системы электроснабжения соледобывающей плавучей платформы, в которой используется четырехжильный силовой кабель, показан на рисунке 1. Она имеет источник 1 питания в виде трехфазного трансформатора [6]. Его высоковольтная обмотка подключается к воздушной линии 2 электропередачи. Со стороны низковольтного напряжения она с помощью четырехжильного силового кабеля 3 подключается к внутренней сети соледобывающей плавучей платформы 4. Жилы 5, 6 и 7 этого кабеля подключаются к фазам А, В и С источника 1 питания. Жила 8 подключается к нейтрали N источника 1 питания со стороны низкого напряжения трансформатора. Эти жилы имеют не только собственную изоляцию 9, но и оболочку 10 кабеля 3. Для обеспечения

плавучести четырехжильного силового кабеля 3 при перемещении соледобывающей плавучей платформы 4 по поверхности водоема 11 на него надеваются поплавки 12. В качестве датчика напряжения защиты используется металлическое кольцо 13.

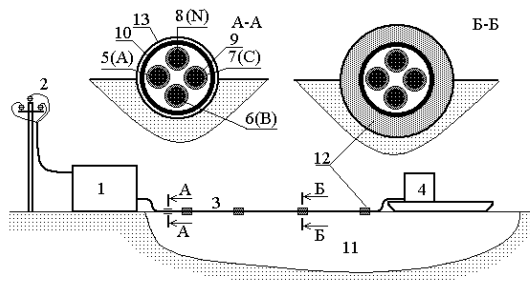


Рисунок 1 – Система электроснабжения соледобывающей плавучей платформы

Электрическая схема электроснабжения соледобывающей плавучей платформы 4 и защиты четырехжильного силового кабеля 3 приведена на рисунке 2. Из нее видно, что нейтраль 14 вторичной обмотки 15 трехфазного трансформатора 16 присоединяется к его металлическому баку 17 трансформатора и заземляется. Кроме этого к ней с помощью нулевой жилы 8 кабеля присоединяется металлический корпус плавучей платформы 4. Вторичная обмотка 15 с помощью автоматического выключателя 18 через жилы 5, 6 и 7 подключается к внутренней сети соледобывающей плавучей платформы 4, состоящей из трехфазной 19 и однофазной 20 нагрузки. Обмотка реле 21 напряжения защиты одним выводом присоединяется к нейтрали 14 источника 1 питания соледобывающей плавучей платформы, а другим выводом с помощью контрольного кабеля 22 к датчику 13 напряжения. Контакты реле 21 включаются в цепь питания обмотки 23 дистанционного расцепителя автоматического выключателя 18.

Во всех нормальных эксплуатационных режимах работы соледобывающей плавучей платформы из-за целостности собственной изоляции 9 жил 5-7 и оболочки 10 той части кабеля 3, которая находится в воде водоема 11, однофазное замыкание жилы в соленой воде водоема 11

произойти не может. Поэтому растекание этого тока в этой воде водоема отсутствует. При этом напряжение между нейтралью 14 источника питания 1 и датчиком 13 напряжения, а также ток в обмотке реле 21 напряжения будут равны нулю. В связи с этим контакты этого реле и цепь питания обмотки 23 дистанционного расцепителя автоматического выключателя 18 остаются разомкнутыми, а сам автоматический выключатель будет находиться во включенном состоянии.

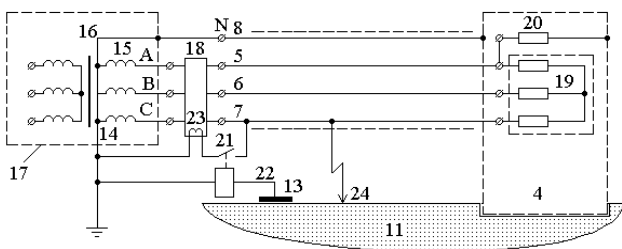


Рисунок 2 – Электрическая схема электроснабжения соледобывающей плавучей платформы и защиты силового кабеля

Результаты и обсуждения

В результате многочисленных перемещений соледобывающей плавучей платформы по поверхности водоема изоляция четырехжильного силового кабеля довольно часто повреждается. При повреждении собственной изоляции 9, например, жилы 7 и оболочки 10 в той части кабеля 3, которая находится в воде водоема 11 происходит однофазное замыкание этой жилы на соленую воду водоема 11 точке. В связи с этим в соленой воде водоема 11 происходит растекание тока однофазного замыкания. При этом напряжение между нейтралью 14 источника питания 1 и датчиком 13 напряжения, а также ток в обмотке реле 21 напряжения становятся не равными нулю. Реле напряжения 21 защиты сработает. Его контакты замкнутся. В цепи питания обмотки 23 дистанционного расцепителя автоматического выключателя 18 появится ток, который вызовет срабатывание независимого расцепителя и отключение автоматического выключателя 18. Как правило, время срабатывания автоматического выключателя мало. Что позволяет быстро и надежно защитить обслуживающий персонал от поражения электрическим током.

Экспериментальная проверка работоспособности разработанной защиты силового кабеля соледобывающей плавучей платформы от однофазного замыкания на землю проведенная на предприятии ТОО «Мультисервис» показала, что данная защита надежно срабатывает при возникновении этого вида замыкания в любой точке кабеля.

Информация о финансировании.

Исследование финансируется Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP23486411).

Выводы

Предлагаемое устройство защиты силового кабеля соледобывающей плавучей платформы позволяет надежно защитить обслуживающий персонал этой платформы от поражения электрическим током при возникновении однофазном замыкании кабеля на землю в любой точке этого кабеля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под ред. С. С. Рокотяна и И. М. Шапиро. – 3-е изд. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 350 с.

2 **Кацман, М. М.** Электрические машины. – М. : Высшая школа – 2004. – 464 с.

3 **Беркович, М. А., Молчанов, В. В., Семенов, В. А.** Основы техники релейных защит. – М. : Энергоатомиздат. – 1984. – 232 с.

4 **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. – М.: Высшая школа. – 1991. – 495 с.

5 **Чернобровов, Н. В.** Релейная защита. – 4-е издание [Текст] / Чернобровов Н. В. – М. : Энергия. – 1974. – 680 с.

6 Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 января 2013 г. – М.: КНОРУС. – 2013. – 488 с.

7 **Чунихин, А. А.** Электрические аппараты.– М. : Энергия – 1975 – 647 с.

8 **Ливщиц, Д. С.** Нагрев проводников и защита предохранителями в электросетях до 1000 В. – М. : Энергия – 1967. – 74 с.

9 Автоматические выключатели – устройство, характеристики. [Электронный ресурс]. – URL: – <https://elektroshkola.ru/apparaty-zashhity/avtomaticheskie-vyklyuchateli/> [Дата обращения: 20.07.2024].

10 **Кораблев, В. П.** Устройства электробезопасности. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 87 с.

11 **Tony R.** Kuphaldt and John Haughey. Applied Industrial Electricity. [Electronic resource]. – URL: <https://iastate.pressbooks.pub/electriccircuits/> [Accessed: 20.07.2024].

REFERENCES

1 Spravochnik po proektirovaniyu e`lektroe`nergeticheskix sistem / Pod red. S. S. Rokotyana i I. M. Shapiro [Handbook on the design of electric power systems]. – 3-e izd. – Moscow : Energoatomizdat, 1985. – 350 p.

2 **Kaczman, M. M.** E`lektricheskie mashiny` [Electric machines]. – Moscow: Higher education, 2004. – 464 p.

3 **Berkovich, M. A., Molchanov, V. V., Semenov V. A.** Osnovy` texniki relejny`x zashhit [Fundamentals of relay protection technology]. – Moscow : Energoatomizdat, 1984. – 232 p.

4 **Andreev, V. A.** Relejnaya zashchita i avtomatika sistem elektrosnabzheniya [Relay protection and automation of power supply systems]. – Moscow : Higher education, 1991. – 495 p.

5 **Chernobrovov, N. V.** Relejnaya zashchita [Relay protection]. – 4-e izdanie [Text] / Chernobrovov N.V. – Moscow : Energy, 1974. – 680 p.

6 Pravila ustrojstva e`lektroustanovok. Vse dejstvuyushhie razdely` shestogo i sed`mogo izdaniy s izmeneniyami i dopolneniyami po sostoyaniyu na 1 yanvarya 2013 g. [Rules for the installation of electrical installations. All current sections of the sixth and seventh editions with amendments and additions as of January 1, 2013] – М.: KNORUS, 2013. – 488 p.

7 **Chunixin, A. A.** E`lektricheskie apparaty`. [Electrical devices]. – Moscow : Energy, 1975. – 647 p.

8 **Livshhicz, D. S.** Nagrev provodnikov i zashhita predoxranitelyami v e`lektrosetyax do 1000 V. [Conductor heating and fuse protection in power grids up to 1000 V]. – Moscow : Energy, 1967. – 74 p.

9 Avtomaticheskie vy`klyuchateli – ustrojstvo, karakteristiki. [Circuit breakers – device, characteristics]. [Electronic resource]. – URL: <https://elektroshkola.ru/apparaty-zashhity/avtomaticheskie-vyklyuchateli/> [Accessed: 20.07.2024].

10 **Korablev, V. P.** Ustrojstva e`lektrobezopasnosti. [Electrical safety devices]. – М.: Energoatomizdat, 1985. – 87 p.

11 **Tony, R.** Kuphaldt and John Haugbery. Applied Industrial Electricity. [Electronic resource]. – URL:–<https://iastate.pressbooks.pub/electriccircuits/> [Accessed: 20.07.2024].

Поступило в редакцию 04.08.24

Поступило с исправлениями 04.08.24

Принято в печать 05.09.24

Ж. Б. Исабеков¹, О. М. Талипов²,

*А. Б. Хусаинова³, Л. Б. Тюлюгенова⁴, *А. Б. Жантілесова⁵*

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

⁵Қазақ мемлекеттік университеті. С. Сейфуллин атындағы,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

04.08.24 ж. баспаға түсті.

04.08.24 ж. түзетулерімен түсті.

05.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ТҮЗ ӨНДІРЕТІН ҚАЛҚЫМАЛЫ ПЛАТФОРМАНЫҢ ҚУАТ КАБЕЛІН БІР ФАЗАЛЫ ЖЕРГЕ ТҮЙЫҚТАЛУДАН ҚОРҒАУ

Бұл мақалада тәуелсіз ажыратқышы бар автоматты ажыратқышпен жабдықталған тұз өндіретін қалқымалы платформаның төрт ядролы қуат кабелін қорғауды жетілдіру мәселесі қарастырылады. Бұл ажыратқышты және ұсынылған қорғаныс құрылысын ортақ пайдалану қалқымалы платформаның қуат кабелін ондағы қысқа тұйықталудың барлық түрлерінен сенімді қорғауға ғана емес, сонымен қатар су қоймасының сулы

ортасында пайда болатын бір фазалы жерге тұйықталу пайда болған кезде осы платформаның техникалық қызмет көрсету персоналын электр тогының соғуынан қорғауға мүмкіндік береді. Бұған бір фазалы жерге тұйықталудан қорғау құрылғысында қуат кабелі мен кернеу релесінде металл сақина түрінде жасалған кернеу сенсоры болғандықтан қол жеткізіледі. Бұл жағдайда кернеу релесінің орамасының бір терминалы кернеу датчигіне, ал екіншісі тұз өндіретін қалқымалы платформаның қуат көзінің бейтараптығына қосылады. Өз кезегінде, бұл кернеу релесінің қалыпты ашық контактілері электр тізбегіне қуат көзінен және тәуелсіз ажыратқыш катушкасынан қосылады. Бұл ұсынылған тұз өндіретін қалқымалы платформаның қуат кабелін қорғау құрылғысына су қоймасының Сулы ортасында орналасқан кабельдің оқшаулауы зақымдалған кезде жерге бір фазалы тұйықталудың пайда болуына сенімді жауап беруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: қалқымалы платформа, төрт ядролы кабель, бейтарап, қорғаныс құрылғысы, ажыратқыш, кернеу сенсоры.

Z. B. Issabekov¹, O. M. Talipov², A. B. Khussainova³, L. B. Tyulyugenova⁴,
*A. B. Zhantlessova⁵

^{1,2,3,4} Toraiyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

⁵ Kazakh State University named after S. Seifullin,

Republic of Kazakhstan, Astana

Received 04.08.24

Received in revised form 04.08.24

Accepted for publication 05.09.24

PROTECTION OF THE POWER CABLE OF A SALT-PRODUCING FLOATING PLATFORM FROM A SINGLE-PHASE EARTH FAULT

This article discusses the issue of improving the protection of a four-core power cable of a salt-producing floating platform equipped with an automatic switch with an independent release. The combined use of this circuit breaker and the proposed protection device allows not only to

reliably protect the power cable of the floating platform from all types of short circuits in it, but also the maintenance personnel of this platform from electric shock in the event of a single-phase earth fault occurring in the aquatic environment of the reservoir. This is achieved due to the fact that the single-phase earth fault protection device has a voltage sensor made in the form of a metal ring on the power cable and a voltage relay. In this case, one of the terminals of the voltage relay winding is connected to the voltage sensor using a single-core control cable, and the other to the neutral of the power source of the salt-producing floating platform. In turn, the normally open contacts of this voltage relay are connected to the electrical circuit from the power source and the coil of the independent circuit breaker release. This allows the proposed device for protecting the power cable of a salt-producing floating platform to reliably respond to the occurrence of a single-phase earth fault if the insulation of the cable located in the aquatic environment of the reservoir is damaged.

Keywords: floating platform, four-core cable, neutral, protection device, circuit breaker, voltage sensor

Теруге 10.09.2024 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

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

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржиқова

Корректорлар: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Тапсырыс №4277

Сдано в набор 10.09.2024 г. Подписано в печать 30.09.2024 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

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

Компьютерная верстка: А. К. Мыржиқова

Корректоры: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Заказ № 4277

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайгыров университеті

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

«Toraighyrov University» баспасы

Торайгыров университеті

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

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz