

УДК 621.316.9:622

EDN CKNLDB

## МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ШАХТНОГО КАБЕЛЯ

**А.И. Белошистов**

ORCID: 0009-0005-7057-2965 e-mail: [BeloshAlex@yandex.ru](mailto:BeloshAlex@yandex.ru)

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт взрывозащищенного электрооборудования

*Донецк, Россия*

**А.Л. Серов**

ORCID: 0009-0007-9931-7559 e-mail: [jusstus@yandex.ru](mailto:jusstus@yandex.ru)

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт взрывозащищенного электрооборудования

*Донецк, Россия*

**А.А. Белошистов**

ORCID: 0009-0008-6034-168X e-mail: [alex1950@ro.ru](mailto:alex1950@ro.ru)

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт взрывозащищенного электрооборудования

*Донецк, Россия*

Разработано микропроцессорное устройство опережающего защитного отключения шахтного кабеля, предназначенное для защиты от аварийных и нестационарных режимов работы подземных электрических сетей с изолированной нейтралью и служащее для встраивания в рудничные коммутационные аппараты управления. Разработанное устройство сопоставлено с имеющимися на рынке аналогами. Приведены результаты испытаний параметров микропроцессорного устройства в различных условиях эксплуатации.

**Ключевые слова:** защита кабеля, комплексная защита отходящего присоединения кабеля, микропроцессорные устройства защиты, опережающее отключение.

**Для цитирования:** Белошистов А.И., Серов А.Л., Белошистов А.А. Микропроцессорное устройство опережающего защитного отключения шахтного кабеля // Интеллектуальная Электротехника. 2025. № 3. С. 61-73. EDN CKNLDB

## MICROPROCESSOR DEVICE FOR ADVANCE PROTECTIVE DISCONNECTION OF SHAFT CABLE

**A.I. Beloshistov**

ORCID: 0009-0005-7057-2965 e-mail: [BeloshAlex@yandex.ru](mailto:BeloshAlex@yandex.ru)

Research, Design and Technological Institute of Explosion-proof Electrical Equipment  
*Donetsk, Russia*

**A.L. Serov**

ORCID: 0009-0007-9931-7559 e-mail: [jusstus@yandex.ru](mailto:jusstus@yandex.ru)

Research, Design and Technological Institute of Explosion-proof Electrical Equipment  
*Donetsk, Russia*

**A.A. Beloshistov**

ORCID: 0009-0008-6034-168X e-mail: [alex1950@ro.ru](mailto:alex1950@ro.ru)

Research, Design and Technological Institute of Explosion-proof Electrical Equipment  
*Donetsk, Russia*

**Abstract.** The paper presents a microprocessor device of advanced protective disconnection of mine cable designed for protection against emergency and non-operational modes of operation of underground electric networks with isolated neutral. The device is used for integration into mine switching devices of control. The developed device is compared with analogs available on the market. The results of testing the parameters of the microprocessor device under various operating conditions are presented.

**Keywords:** cable protection, integrated protection of outgoing cable connection, microprocessor protection devices, advance disconnection.

**For citation:** A.I. Beloshistov, A.L. Serov, A.A. Beloshistov, “Microprocessor device for advance protective disconnection of shaft cable”, *Smart Electrical Engineering*, no. 3, pp. 61-73, 2025. EDN CKNLDB

### I. Введение

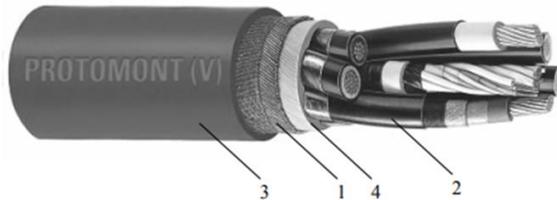
Тяжелые условия эксплуатации в подземных выработках предъявляют к рудничному электрооборудованию ряд требований, соблюдение которых обеспечивает безопасность и надежность его обслуживания. Статистически наиболее частое воспламенение метановоздушной смеси в шахтах происходит из-за повреждения силового кабеля [1]. Основным источником возгорания нередко является открытая электрическая дуга, которая возникает в месте повреждения изоляции токопроводящей жилы. В соответствии с действующими правилами безопасности, подземные участковые сети должны оборудоваться защитным отключением, обеспечивающим постоянный контроль изоляции и автоматическим отключением сети при возникновении опасных утечек. Из-за серии крупных аварий, в частности, на шахте «Северная», приказом Ростехнадзора от 31 октября 2016 г. № 450 (введен в действие с 31 мая 2017 г.) был изменен первый абзац пункта 417 «Правил

безопасности в угольных шахтах» [2]. Изменения вступили в силу с 01.01.2020 г. Пункт 417 «Правил безопасности в угольных шахтах» требует защиты, которая обеспечивает при повреждении наружной оболочки кабеля опережающее отключение напряжения с кабеля до повреждения изоляции основных жил и возникновения короткого замыкания. На данный момент ни один коммутационный аппарат, выпускаемый нашими заводами, не обладает такой защитой, что сужает диапазон их применения.

В 1970-80-х гг. была разработана система электроснабжения с быстродействующим отключением места повреждения шахтного кабеля от источников питания за 3-5 мс. Она могла обеспечивать надежную взрывозащиту для гибких шахтных кабелей, однако ввиду сложности элементов так и не получила своего развития [3, 4].

Решение проблемы взрывозащиты шахтных кабелей возможно при создании оболочки, которая объединяет в себе гибкость резины и прочность металла. Однако на сегодняшний день нет материала, удовлетворяющего этим качествам. Для решения данной проблемы разрабатывались технические решения, позволяющие вводить в конструкцию кабеля защитные элементы, которые делают возможным получение сигналов на отключения поврежденного кабеля до пробоя его изоляции.

В современных зарубежных системах для угольных шахт фирм *Promos, Endis, Joy, Pirelli* применяют кабели с двумя экранами. Так, например, в кабеле для питания передвижных горных машин и трансформаторных подстанций *PROTOMONT(V)* между оболочкой и наполнителем размещен изолированный от земли экран в виде оплетки из медных и стальных проволок. Конструкция такого кабеля приведена на рис. 1.



**Рис. 1. Кабель с двойным экраном PROTOMONT(V) фирмы Pirelli:**

*1 – внешний защитный экран в виде концентрической оплетки из медных и стальных проволок, 2 – заземляющий экран из токопроводящей резины для каждой из основных жил, 3 – наружная оболочка из специальной полихлорвиниловой смеси, 4 – наполнитель Gm1b*

**Fig. 1. Pirelli PROTOMONT (V) dual shield cable:**

*1 – an external protective screen in the form of a concentric braid of copper and steel wires, 2 – an earthing screen of conductive rubber for each of the main conductors, 3 – an outer shell of a special PVC mixture, 4 – a filler Gm1b*

При повреждении наружной оболочки кабеля происходит замыкание защитного экрана с заземляющим экраном основных жил. В результате срабатывает защитное устройство, снимая напряжение с кабеля до момента повреждения изоляции основных жил и возникновения короткого замыкания.

Действующими «Правилами безопасности в угольных шахтах» (с изменениями на 25 сентября 2018 г.) предусматривается защита работников от поражения электрическим током в подземных электроустановках с изолированной нейтралью аппаратами защиты от утечек тока с автоматическим отключением поврежденной сети. При этом защита электрической сети от опасных утечек тока на землю осуществляется одним отключающим аппаратом в комплексе с аппаратом защиты от утечки тока на всю электрически связанную сеть (подключенную к одному трансформатору). Данные требования обусловлены необходимостью обеспечить безопасные условия эксплуатации электрооборудования при стабильных защитных характеристиках аппаратов защиты от токов утечки. При параллельной работе нескольких аппаратов защиты происходит изменение защитных характеристик, обусловленное взаимным влиянием источников оперативного тока и внутренним сопротивлением самого аппарата защиты [5].

Создание средств защиты, имеющих высокую устойчивость против ложных срабатываний, имеет большое значение для обеспечения стабильной работы угольных предприятий.

Переходные процессы, обусловленные контакторной коммутацией электропотребителей шахтных участковых сетей, сопровождаются кратковременным повышением тока в оперативной цепи устройства контроля сопротивления, что способно вызвать ложное срабатывание последнего. Практический интерес представляет исследование воздействия коммутационных процессов в участковой электросети на устойчивость работы устройства контроля сопротивления изоляции дополнительного экрана кабеля относительно заземляющей жилы.

Одной из основных причин ложных срабатываний аппаратов защиты от токов утечки на землю является возникновение напряжения между нейтралью сети и заземляющим проводом при переходном процессе, связанном с отключением электродвигателей. Это обусловлено тем, что при отключении контактором двигателя дуга гаснет в одной из фаз ранее, чем в двух остальных, трехфазная система превращается в двухфазную, и в сети происходит переходной процесс.

Цель исследований – уточнение специфики влияния факторов, обусловленных конфигурацией электросети участка шахты, на изменение оперативного тока устройства контроля сопротивления изоляции при коммутациях электродвигателя.

## II. Описание разработанных решений

Исследования проводились на макете низковольтных кабельных электрических сетей, применяемом в горнорудной промышленности с использованием кабеля типа КГВЭУШ, конструкция которого содержит защитный экран и асинхронный электродвигатель мощностью 55 кВт.

В соответствии с правилами безопасности, кабельные линии электро-снабжения должны снабжаться средствами защиты от токов утечки, обеспечивающими условия безопасной эксплуатации электротехнических комплексов за счет постоянного контроля сопротивления изоляции. Поэтому, макет сети содержит аппарат защиты от токов утечки типа АЗУР-1 [6,7].

Изменяемые параметры электрической сети электрической сети приведены в табл. 1.

**Таблица 1.**  
**Параметры сети при коммутации электродвигателя**

**Table 1.**  
**Network parameters during electric motor switching**

Параметр	Длина кабеля, км				
	~0,9	~2,8	~4,7	~6,1	~8,5
Емкость силовых фаз относительно заземляющей жилы, мкФ/фаза	0,14	0,39	0,64	0,84	1,14
Емкость заземляющего провода относительно защитного экрана, мкФ	0,26	0,73	1,19	1,56	2,12
Емкость силовых фаз относительно защитного экрана, мкФ/фаза	0,09	0,34	0,59	0,76	1,09

Приведенные длины рассчитаны на основе типичных удельных емкостей кабеля КГВЭУШ. В макетной установке увеличение емкости достигалось параллельным подключением эталонных конденсаторов к жилам кабеля для имитации протяженных линий.

На рис. 2 приведена схема замещения электрической сети с аппаратом защиты и устройством защитного отключения кабеля. Используются следующие обозначения:  $L_{к1}$  – суммарная индуктивность присоединительного трансформатора и компенсирующего дросселя аппарата защиты;  $R_{к1}$  – активное сопротивление суммарной индуктивности  $L_{к1}$ ;  $R_1$  – ограничивающий резистор источника оперативного тока  $U_1$ ;  $C_1$  – емкость разделительного конденсатора аппарата защиты;  $C_{\phi}$  – суммарная емкость силовых жил кабеля относительно заземляющего провода;  $R_{из1}$  – суммарное сопротивление изоляции жил кабеля относительно заземляющего провода;  $C_3$  – суммарная емкость жил кабеля относительно защитного экрана;  $R_{из2}$  – суммарное сопротивление жил кабеля, относительно защитного экрана;  $R_{(z1-z2)}$  – сопротивление изоляции заземляющего провода и защитного экрана;  $C_{(z1-z2)}$  – емкость заземляющего провода относительно защитного экрана;  $U_{сн}$  – напряжение смещения нейтрали;  $U_1$  – напряжение оперативного источника

аппарата защиты от токов утечки на землю;  $U_2$  – напряжение оперативного тока блока защиты кабеля;  $C_2$  – емкость разделительного конденсатора блока контроля кабеля;  $R_{ут}$  – сопротивление утечки кабеля.

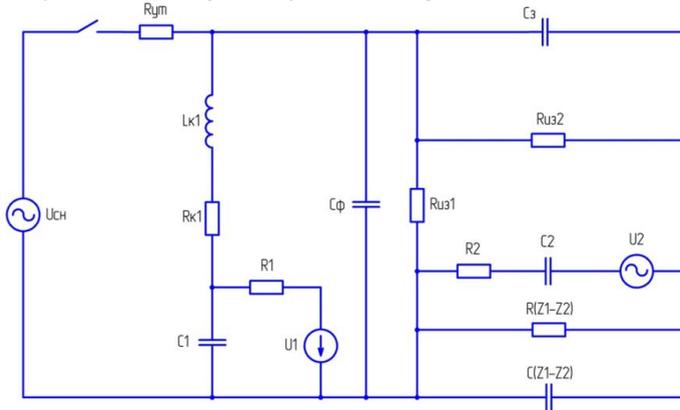


Рис. 2. Схема замещения электрической сети

Fig. 2. Electrical network diagram

Характерная осциллограмма переходных процессов, происходящих при включении электродвигателя, представлена на рис. 3.

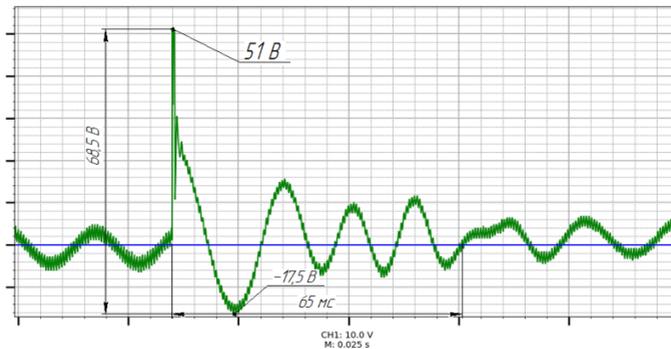
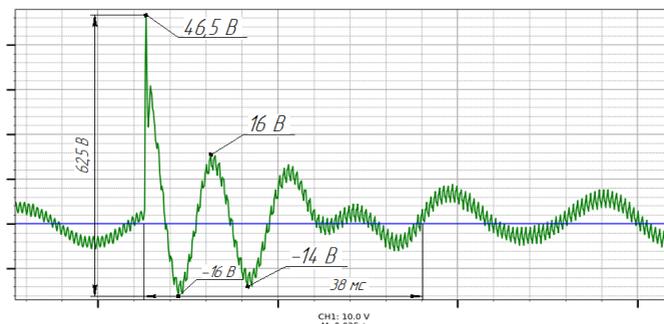


Рис. 3. Осциллограмма переходного процесса при включении электродвигателя

Fig. 3. Oscillogram of the transient process when the electric motor is turned on

На рис. 4 представлена характерная осциллограмма переходного процесса, происходящего при отключении электродвигателя.



**Рис. 4. Осциллограмма переходного процесса при отключении электродвигателя**

**Fig. 4. Oscillogram of transient process in case of electric motor shutdown**

Осциллограммы переходных процессов были зарегистрированы на контролируемой линии кабеля между фазным проводником и цепью заземления.

Анализ полученных результатов показал, что размах переходного напряжения при коммутации электродвигателя не превышает 63 В. При этом остаточное напряжение в контролируемой цепи, обусловленное емкостью кабеля, не превышает 6,9 В. Длительность переходного периода при коммутации электродвигателя находится в пределах  $40 \div 65$  мс в зависимости от емкости кабеля.

Исходя из проведенного анализа, был предложен следующий алгоритм работы устройства защиты кабеля.

1. Контроль целостности цепи «защитный экран – заземляющая жила» выполнять на оперативном токе повышенной частоты. Данный способ контроля позволяет с большой достоверностью контролировать выше-названную цепь с обеспечением самоконтроля элементов схемы.

2. Состояние сопротивления изоляции цепи «защитный экран – заземляющая жила» осуществлять постоянным оперативным током, непосредственно при включении коммутационного аппарата, при отключенном блоке предварительного контроля изоляции коммутационного аппарата, с задержкой на включение, достаточной для измерения.

С учетом проведенных исследований и полученных результатов в ГБУ «НИИВЭ» разработано микропроцессорное устройство опережающего защитного отключения шахтного кабеля, выполненного в виде блока, встраиваемого в рудничный коммутационный аппарат – блок БЗК. Конструктивно он выполнен в виде пластмассового корпуса, на основании которого крепится вилка соединителя и печатная плата с элементами (рис. 5) и также ключ для безошибочной установки блока на свое место в аппарате. После

установки блок крепится винтом, в верхней части имеется переключатель выбора величины напряжения контролируемой сети.

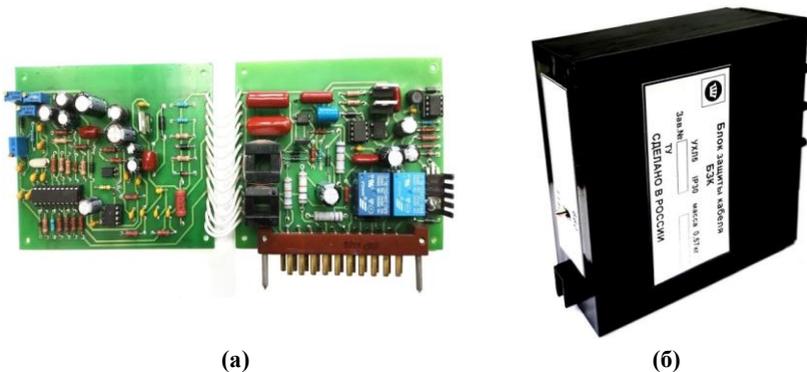
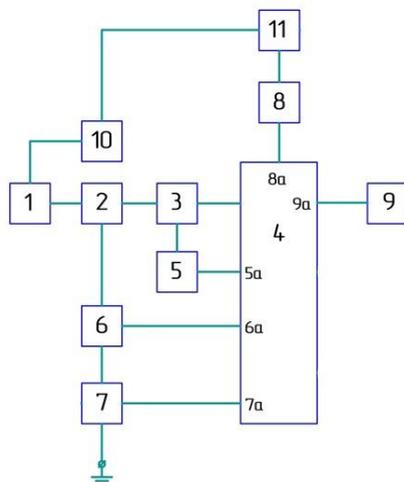


Рис. 5. Общий вид:  
печатных плат блока БЗК (а); блока БЗК (б)

Fig. 5. General view:  
printed circuit boards of BZK block (a); BZK block (b)

Структурная схема блока БЗК приведена на рис. 6. Принцип действия основан на методе наложения измерительного тока на контролируемое присоединение, сравнении его величины с эталонным током и выдаче сигнала на отключение коммутационного аппарата при превышении заданного порога (уставки) срабатывания.

Блок БЗК работает следующим образом. Генератор повышенной частоты, выполненный на микроконтроллере, через преобразователь прямоугольного сигнала в синусоидальный, выдает сигнал на усилитель переменного тока канала контроля цепи заземления. Нагрузкой данного усилителя является измерительный трансформатор  $TV1$ , в цепь которого через согласующие элементы  $L1$  и  $C1 \div C5$  включен контролируемый кабель. Выходной сигнал с измерительного трансформатора, соответствующий состоянию цепи «защитный экран – заземляющая жила» (обрыв, снижение изоляции или увеличение сопротивления между заземляющим проводом и дополнительным экраном), выпрямляется диодом  $VD1$  и через фильтр  $R4, C6$  поступает на вход микроконтроллера, где сравнивается с опорным напряжением. При выполнении определенной логики, выдается сигнал на отключение коммутационного аппарата исполнительным реле  $K2.1$ , подключенного через полумостовой драйвер к микроконтроллеру. Это обеспечивает самоконтроль основных элементов блока защиты кабеля [8].



**Рис. 6. Структурная схема блока БЗК:**

1 – источник питания; 2 – источник питания усилителя; 3 – стабилизированный источник питания микроконтроллера; 4 – микроконтроллер; 5 – формирователь уставок срабатывания; 6 – усилитель оперативного переменного напряжения; 7 – измерительный трансформатор; 8 – узел управления; 9 – исполнительное реле; 10 – источник оперативного тока; 11 – коммутирующее реле

**Fig. 6. Block diagram of BZK block:**

1 – power supply; 2 – amplifier power supply; 3 – stabilized microcontroller power supply; 4 – microcontroller; 5 – trigger setting generator; 6 – operational alternating voltage amplifier; 7 – measuring transformer; 8 – control unit; 9 – executive relay; 10 – operational current source; 11 – switching relay

Измерение состояния изоляции происходит до момента включения коммутационного аппарата от источника оперативного тока, через узел управления реле коммутации цепи предварительного контроля изоляции К1.1. Величина, пропорциональная сопротивлению изоляции, поступает на вход микроконтроллера. Если в период измерения сопротивление изоляции соответствует заданным параметрам, выдается разрешительный сигнал на включение коммутационного аппарата. При включенном коммутационном аппарате контроль сопротивления осуществляется общесетевым аппаратом защиты от токов утечки [9, 10].

Уставка срабатывания блока определяется величиной падения напряжения на резисторе  $R2$ ,  $R3$  и устанавливаются регулировочными резисторами  $R1$ . Фирма *BENDER* (БЕНДЕР) выпускает для кабелей с двумя экранами специальные блоки защиты *RM475* – устройство для контроля шлейфов. Сравнительные характеристики блока защиты кабеля БЗК и устройство для контроля шлейфов *RM475* представлены в табл. 2.

**Таблица 2.**  
**Сравнительные характеристики блоков БЗК и RM475**

**Table 2.**  
**Comparative characteristics of BZK and RM475 blocks**

Параметры	Блок БЗК	Блок RM475
Номинальное напряжение, В	36/12	230
Потребляемая мощность, В·А, не более	8	-
Сопротивление срабатывания при сопротивлении цепи «защитный экран – заземляющая жила», Ом, не более	10	200
Сопротивление срабатывания при сопротивлении заземляющей жилы относительно защитного экрана, кОм, не менее: – для силовых цепей напряжением 660 В – для силовых цепей напряжением 1140 В	35±5* и 110±30**  110±10* и 300±60**	1
Контроль обрыва цепи заземления	Да	Да

\* – уставка «Аварийная», \*\* – уставка «Предупредительная»

Устройство защитного отключения кабеля совместно с аппаратом защиты от токов утечки на землю обеспечивают комплексную защиту отходящего присоединения кабеля с элементами селективной защиты.

Зоны действия аппарата защиты от утечки тока на землю:

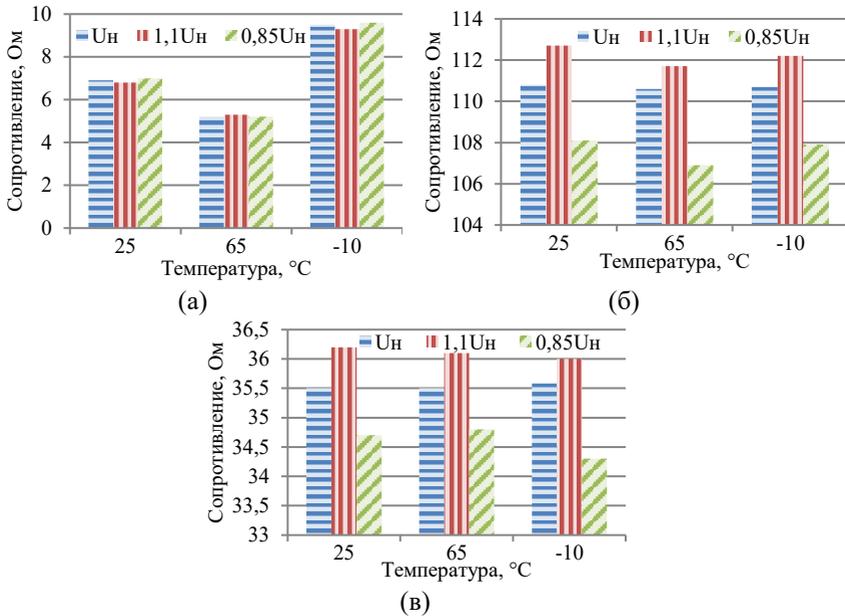
- 1) зона защиты человека (ток утечки не превышает 25 мА);
- 2) зона защиты от пожара (ток утечки не превышает 25 мА);
- 3) контроль состояния изоляции кабеля (сопротивление симметричной трехфазной утечки, предварительный контроль изоляции кабеля).

Зона действия устройства опережающего защитного отключения включает:

- 1) состояние цепи «заземляющий провод – дополнительный экран» (замыкание, увеличение сопротивления цепи);
- 2) сопротивление изоляции цепи «заземляющий провод – дополнительный экран»;
- 3) обрыв цепи «заземляющий провод – дополнительный экран».

Проведенные лабораторные испытания блока БЗК подтвердили соответствие основных технических характеристик проекта ТУ 27.12.23-002-00217159-2023. Эксперименты проводились на двух стандартных уровнях напряжения промышленных сетей – 660 В и 1140 В, для которых предназначен блок БЗК. Результаты, полученные в ходе испытаний, представлены в виде диаграмм на рис. 7.

Испытания подтвердили стабильность параметров блока защиты кабеля БЗК при изменении напряжения питания и температуры отгружающей среды в диапазонах, предусмотренных ТУ.



**Рис. 7. Сопротивления срабатывания в зависимости от температуры окружающей среды и напряжения питания при: сопротивлении цепи «защитный экран – заземляющая жила» (а); сопротивлении заземляющей жилы относительно защитного экрана при напряжении 1140 В (б) и 660 В (в)**

**Fig. 7. Response resistances depending on the ambient temperature and supply voltage: resistance of the circuit «protective screen – grounding conductor» (a); resistance of the grounding conductor relative to the protective screen at 1140 V (b) and 660 V (в)**

## V. Заключение

Применение устройства БЗК позволяет расширить функциональные возможности рудничных коммутационных аппаратов и обеспечивает более полную защиту обслуживающего персонала. Решение проблемы защиты кабелей при повреждении оболочки позволяет выполнить требования п. 417 Правил безопасности в угольных шахтах РФ.

© Белошистов А.И., 2025

© Серов А.Л., 2025

© Белошистов А.А., 2025

Поступила в редакцию 09.06.2025

Принята к публикации 20.06.2025

Received 09.06.2025

Accepted 20.06.2025

## Библиографический список

- [1] Гришин М.В. Исследование защитных свойств экранов шахтных кабелей // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2007. С. 54-60.
- [2] Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» (с изм. 25.09.2018), 2018. – 113 с.
- [3] Колосюк В.П. Защитное отключение рудничных электроустановок. М.: Недра, 1980. – 334 с.
- [4] Фролкин В.Г. Быстродействующая защита шахтных участковых сетей. М.: Недра, 1986. – 125 с.
- [5] Дзюбан В.С. Аппараты защиты от токов утечки в шахтных электрических сетях. М.: Недра, 1982. – 151 с.
- [6] Приказ Ростехнадзора от 8 декабря 2020 г. №507 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». Введ.: 01.01.2021. – 120 с.
- [7] ГОСТ Р 58585-2019. Оборудование горно-шахтное. Общие требования безопасности к системам электроснабжения и управления. Введ.: 09.10.2019. М.: Стандартинформ, 2019. – 14 с.
- [8] Слесарев А.И., Моисейкин Е.В., Устьянцев Ю.Г. Аспекты проектирования электронных схем на основе микроконтроллеров. Екатеринбург: УрФУ, 2018. – 136 с.
- [9] Горобец А.И. Справочник по конструированию радиоэлектронной аппаратуры (печатные узлы). Киев: «Техника», 1985. – 311 с.
- [10] Браун М. Источники питания. Расчет и конструирование. Киев: МК-Пресс, 2005. – 279 с.

## References

- [1] M.V. Grishin, "Issledovanie zashchitnyh svoystv ekranov shahtnyh kabelej. [Study of the protective properties of mine cable screens]", *Bulletin of Research Center for Safety in Coal Industry (Industrial Safety)*, pp. 54-60, 2007 (in Russian).
- [2] Federal rules and regulations in the field of industrial safety "Pravila bezopasnosti v ugol'nyh shahtah [Safety rules in coal mines]", 2018 (in Russian).
- [3] V.P. Kolosyuk, *Zashchitnoe otklyuchenie rudnichnyh elektroustanovok [Protective shutdown of mine electrical installations]*. Moscow: Nedra, 1980 (in Russian).
- [4] V.G. Frolkin, *Bystrodejstvuyushchaya zashchita shahtnyh uchastkovykh setej [Fast-acting protection of mine district networks]*. Moscow: Nedra, 1986 (in Russian).
- [5] V.S. Dzyuban, *Apparaty zashchity ot tokov utechki v shahtnyh elektricheskikh setyah [Devices for protection against leakage currents in mine electric networks]*. Moscow: Nedra, 1982 (in Russian).
- [6] Order of Rostekhnadzor dated Dec. 8, 2020 no. 507 "Ob utverzhdenii federal'nyh norm i pravil v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Pravila bezopasnosti v ugol'nyh shahtah [On approval of federal norms and rules in the field of industrial safety "Safety Rules in Coal Mines"]", 2021 (in Russian).
- [7] Mining equipment. General safety requirements for power supply and control systems, GOST R 58585-2019. Moscow: Standartinform, 2019.

- [8] A.I. Slesarev, E.V. Moisejkin and Yu.G. Ust'yancev, *Aspekty proektirovaniya el-ektronnyh skhem na osnove mikrokontrollerov [Aspects of designing electronic cir-cuits based on microcontrollers]*. Ekaterinburg: UrFU, 2018 (in Russian).
- [9] A.I. Gorobec, *Spravochnik po konstruirovaniyu radioelektronnoj apparatury (pechatnye uzly) [Reference book on radio electronic equipment design (printing units)]*. Kiev: Tekhnika, 1985 (in Russian).
- [10] M. Braun, *Istochniki pitaniya. Raschet i konstruirovanie. [Power supplies. Calculation and design]*. Kiev: MK-Press, 2005 (in Russian).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Белошистов Александр Иванович**, заведующий комплексным научно-исследовательским отделом электрических аппаратов ГБУ «НИИВЭ», г. Донецк, ДНР, Российская Федерация.

**Aleksandr I. Beloshistov**, head of the integrated research department of electrical devices of the NIIVE, Donetsk, DPR, Russian Federation.

**Серов Андрей Леонидович**, заведующий лабораторией комплексного научно-исследовательского отдела электрических аппаратов ГБУ «НИИВЭ», г. Донецк, ДНР, Российская Федерация.

**Andrey L. Serov**, head of the laboratory of the integrated research department of electrical devices of the NIIVE, Donetsk, DPR, Russian Federation.

**Белошистов Алексей Александрович**, инженер-конструктор комплексного научно-исследовательского отдела электрических аппаратов ГБУ «НИИВЭ», г. Донецк, ДНР, Российская Федерация.

**Alexey A. Beloshistov**, design engineer of the integrated research department of electrical devices of the NIIVE, Donetsk, DPR, Russian Federation.