

11. Білінський, Й. Й. Ультразвуковий метод вимірювання швидкості плинних середовищ [Текст]: матеріали 1-ої Всеукраїнської науково-технічної конференції / Й. Й. Білінський, М. В. Гладішевський // Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення. — Житомир: ЖДТУ, 2015. — С. 53–54.
12. Крюков, И. И. О размере ближней зоны плоских ультразвуковых преобразователей, находящихся на одной оси [Текст] / И. И. Крюков // Акустический журнал. — 1995. — Т. 41, № 1. — С. 101–105.
13. The Ultrasonic Field [Electronic resource] / SignalProcessing. — Available at: \www/URL: [http://www.signal-processing.com/us\\_field.html](http://www.signal-processing.com/us_field.html)
14. Білінський, Й. Й. Ультразвуковий метод вимірювання швидкості плинних середовищ [Текст] / Й. Й. Білінський, М. В. Гладішевський // Всеукраїнська семінар-нарада «Облік природного газу та метрологія». — Рівне, 2015. — С. 13–14.
15. Ультразвуковий спосіб вимірювання витрат рідких і/або газоподібних середовищ [Текст]: Пат. 98518 Україна МПК G0FB 1/00 / Білінський Й. Й., Городецька О. С., Гладішевський М. В.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. — № U201413183; заявл.08.12.2014; публ. 27.04.2015, Бюл. № 8. — 5 с.

**РАЗРАБОТКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ТЕКУЧЕЙ СРЕДЫ**

В статье проведен краткий анализ основных ультразвуковых методов и средств контроля расхода жидких и газообразных сред. Предложено математическую модель распространения

ультразвуковой волны в текучей среде и ультразвуковой метод измерения скорости текучих сред на ее основе. Приведена структурная схема ультразвукового измерителя скорости потока на основе амплитудно-частотного метода.

**Ключевые слова:** расходомер, контроль расхода, ультразвук, скорость звука, частота, ближняя зона.

*Білінський Йосип Йосипович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електроніки та електротехніки, Вінницький національний технічний університет, Україна, e-mail: [yosyp.bilynsky@yandex.ru](mailto:yosyp.bilynsky@yandex.ru).*

*Гладішевський Микола Володимирович, провідний фахівець департаменту метрологічного контролю, Метрологічний центр Національної акціонерної компанії «Нафтогаз України», Боярка, Україна, e-mail: [mgladyshesvskyi@yahoo.com](mailto:mgladyshesvskyi@yahoo.com).*

*Білінський Йосиф Йосифович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электроники и электротехники, Винницкий национальный технический университет, Украина. Гладышевский Николай Владимирович, ведущий специалист департамента метрологического контроля, Метрологический центр Национальной акционерной компании «Нафтогаз Украины», Боярка, Украина.*

*Bilynsky Yosyp, Vinnytsia National Technical University, Ukraine, e-mail: [yosyp.bilynsky@yandex.ru](mailto:yosyp.bilynsky@yandex.ru).*

*Gladyshevskiy Mykola, Metrological Center of National Joint-Stock company «Naflogaz of Ukraine», Boyarka, Ukraine, e-mail: [mgladyshesvskyi@yahoo.com](mailto:mgladyshesvskyi@yahoo.com)*

УДК 622.36:621.316.938

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.46993

**Мнухин А. Г.,  
Иорданов И. В.**

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ**

*В работе показана возможность и намечены пути создания сверхбыстродействующей коммутационной аппаратуры, предназначенной для эксплуатации на угольных шахтах, опасных по газу или пыли, исключаящие поджигание взрывоопасной среды. Результатом внедрения таких устройств будет снижение аварийности на предприятиях угольной промышленности.*

**Ключевые слова:** электроэнергия, электроснабжение, шахта, взрыв, отключение, очаг воспламенения, короткое замыкание, станция магнитная.

**1. Введение**

Обеспечение безопасности применения электро-энергии в системах электроснабжения взрывоопасных производств, и, в частности на шахтах, опасных по газу или пыли, традиционно во всем мире зиждется на реализации следующих двух технических направлений: выполнения комплекса регламентных работ по поддержанию в рабочем состоянии всего электрооборудования, и в первую очередь его электрической изоляции, а также отключения поврежденного элемента сети за минимально короткий срок. Такая концепция, вполне отвечающая проблеме обеспечения безопасности в электрических сетях общего назначения и формально перенесенная на системы электроснабжения взрыво-опасных производств, является в последнем случае явно недостаточной по следующим причинам.

Во-первых, вследствие объективных причин (мобильность горно-шахтного оборудования, высокая влажность и запыленность окружающей среды, сложность обслуживания электрооборудования на месте его эксплуатации и т. д.) добиться высококачественного стабильного безопасного функционирования систем электроснабжения на действующих шахтах пока не удастся. Во-вторых, отключение поврежденного элемента коммутационным аппаратом традиционного исполнения (воздушным, эле-газовым, вакуумным) с учетом времени срабатывания токовой защиты происходит за время до 200 мс [1], в течение которого, в случае загазованности атмосферы в аварийной точке, неминуемо произойдет взрыв со всеми вытекающими отсюда последствиями [2]. Поэтому предельное время безопасного отключения электроэнергии с аварийного участка с соответствующими коэффициентами запаса будет составлять не более 300–400 микросекунд [3].

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

При столь жестких требованиях к быстродействию отключающего устройства, защита от взрыва в случае наличия очага воспламенения в метано-воздушной среде в принципе не может быть выполнена, а весь комплекс, как организационных, так и технических мероприятий, реализуемый в горной промышленности всего мира, позволяет лишь снизить вероятность совпадения событий «загазирование — возникновение источника воспламенения», но отнюдь не исключить из практики это грозное явление. Поэтому создание и практическая реализация концепции, принципиально позволяющей обеспечить безопасное применение электроэнергии непосредственно во взрывоопасных средах, в том числе и газовых шахт, является актуальной научной и народно-хозяйственной проблемой. Здесь следует вероятно отметить, что в данном случае речь идет о фактическом переводе всего комплекса силового рудничного электрооборудования в исполнение «РО» (рудничное особо взрывобезопасное).

Известно [4–6], что прежние попытки создания быстродействующего коммутационного аппарата, базирующиеся на использовании традиционных типов взрывчатых веществ (ВВ), например, тротила (принцип «пироболта») для решения данной технической проблемы оказались безрезультатными из-за невозможности соблюдения в условиях широкой промышленной эксплуатации правил безопасного использования (сохранения) ВВ, а также из-за инициирования этими конструкциями перенапряжений особо высокого уровня.

Однако в настоящее время, как в горной [7, 8], так и в других отраслях промышленности [9, 10], уже получили распространение новые, безопасные экологически чистые технологии, базирующиеся на реализации электрогидравлического эффекта. Реализация этих экологически чистых процессов в различных отраслях промышленности позволила подступиться к проблеме создания всего комплекса взрывобезопасного, в частности рудничного, электрооборудования в исполнении «РО».

## 3. Объект, цель и задачи исследования

*Объект исследования* — безопасность применения электроэнергии на угольных шахтах.

*Целью работы* является повышение безопасности систем электроснабжения угольных шахт всех категорий по газу или пыли.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Создание сверхбыстродействующего взрывного отключающего устройства (время отключения до 100 мкс).
2. Создание на новой элементной базе трехфазного коммутационного аппарата.
3. Разработка магнитной станции нового поколения для угольной промышленности.

## 4. Создание коммутационного аппарата нового поколения, выполненного на электрогидравлической основе

Основная часть работы заключается в создании коммутационного аппарата нового поколения, выполненного

на электрогидравлической основе. Аппарат предназначен для комплектации шахт и других взрывоопасных производств.

Таким образом, представленный анализ показал необходимость выполнения работ по следующим направлениям.

Первоначально возникла потребность создания непосредственно разделяющего узла (отсекателя) [11] с последующим его объединением в трехфазную, синхронно срабатывающую группу, обладающую также одновременно действующим трехфазным механическим коротителем, снимающим напряжение генерируемое нагрузкой, если таковой является электрический двигатель (рис. 1) [12].

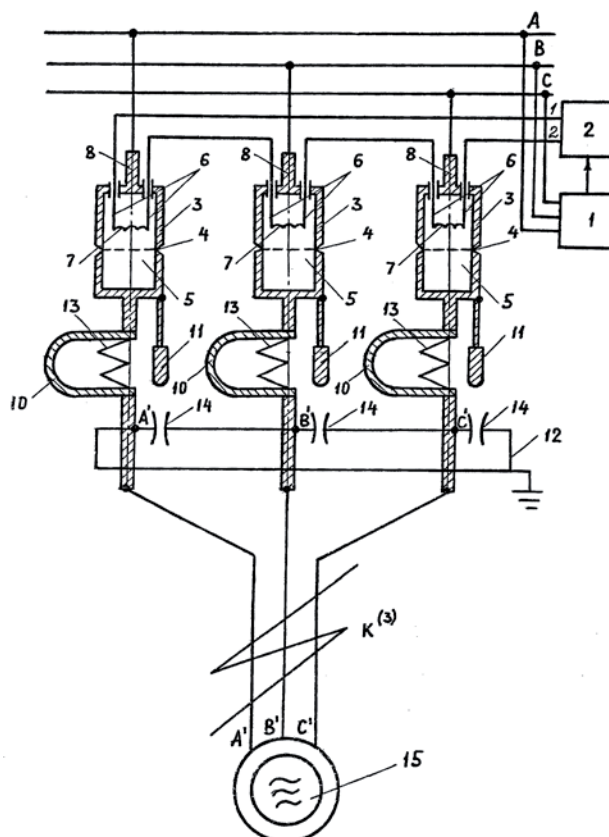


Рис. 1. Принципиальная схема устройства защиты

Такое коммутационное устройство содержит блок быстродействующей максимальной токовой защиты 1, подсоединенный к трехфазной сети, генератор 2 импульсных токов электрогидравлической установки, соединенный с предохранителями 3, выполненными в виде полых корпусов с кольцевыми проточками 4, заполненными диэлектрической жидкостью 5. Каждый предохранитель, установленный в любой из трех фаз сети, имеет пару электродов 6, концы которых, расположенные внутри корпуса, соединены токопроводящим проводником 7. Вторые концы электродов, находящиеся вне корпуса, соединены последовательно и подключены к выходам 1 и 2 генератора 2. Жесткий вывод 8 каждого предохранителя подсоединен к питающей сети переменного, т. е. фазам A, B, C или постоянного (тогда требуется только два предохранителя) тока. Жесткий вывод 9, контактирующий с корпусом предохранителя 3, выполнен из двух частей, соединенных гибким проводником 10,

и подсоединен к защищаемой сети: точки  $A^1$ ,  $B^1$  и  $C^1$ . Нижняя часть всех камер 3 снабжена короткозамыкателями 11 скользящего (рубящего) типа, обеспечивающих соединение цепи 12 замыкания на землю и ее фиксацию пружинами 13 через пары стационарных контактов 14. На рис. 1 показан также электродвигатель 15 и аварийная точка  $K^{(3)}$ . Пружины 13, соединяющие, помимо гибкого проводника 10, две части жесткого вывода 9, находятся в растянутом состоянии.

Работает устройство следующим образом.

При возникновении замыкания в защищаемой сети (точка  $K^{(3)}$ ) возрастает ток в питающей сети  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , вследствие чего срабатывает быстродействующая защита 1, которая подает запускающий импульс на генератор 2. Последний подает импульс тока на последовательно соединенные проводники 7, расположенные в диэлектрической жидкости внутри предохранителей 3. Далее, при одновременном перегорании закорачивающих проводников 7, происходит резкое увеличение давления внутри корпусов предохранителей 3, в результате чего они одновременно разрываются по проточкам 4. За счет приобретенной кинетической энергии нижняя часть предохранителя с короткозамыкателем 11, соединенная с отходящим присоединением гибким проводником 10, с большой скоростью входит в стационарные контакты 14 (без вибраций и «отскоков»), образуя цепь 12 заземления. Удерживание короткозамыкателей 11 в стационарных контактах 14 и обеспечение надежного контакта осуществляется пружиной 13. Таким образом, токи возможной подпитки от вращающегося двигателя 15,

вследствие закорачивания поврежденной точки, оказываются заблокированными цепью 12. Параметры (материал, диаметр, сопротивление) проводников 7 выбраны таким образом, что проводники перегорают практически одновременно, обеспечивая электрогидравлический эффект в малом объеме.

Использование предлагаемого устройства для защитного отключения электрических сетей взрывоопасных производств позволяет не только произвести быстрое отключение поврежденного участка, но и осуществить его закорачивание, обеспечив, тем самым, исключение «подпитки» аварийной точки от вращающегося электродвигателя нагрузки, о чем указывалось ранее.

Таким образом, оказывается решенной задача создания разделяющего узла (отсекателя) отключающего непосредственно аварийный участок. Далее, получив подобное изделие, можно приступить к созданию общей системы электроснабжения, обеспечивающей непосредственно применение в горных выработках электроэнергии на уже полностью безопасном уровне.

Осциллограммы отключения однофазным устройством токов нагрузки приведены на рис. 2. Анализируя рис. 2 можно установить, что время отключения токов нагрузки электровзрывным устройством во всех случаях находится в миллисекундном диапазоне (от 0,25 до 1,01 мс).

При использовании же данного устройства для защиты электрической сети в аварийном режиме (отключение токов короткого замыкания) время защитного отключения не превышает 100 мкс (рис. 3).

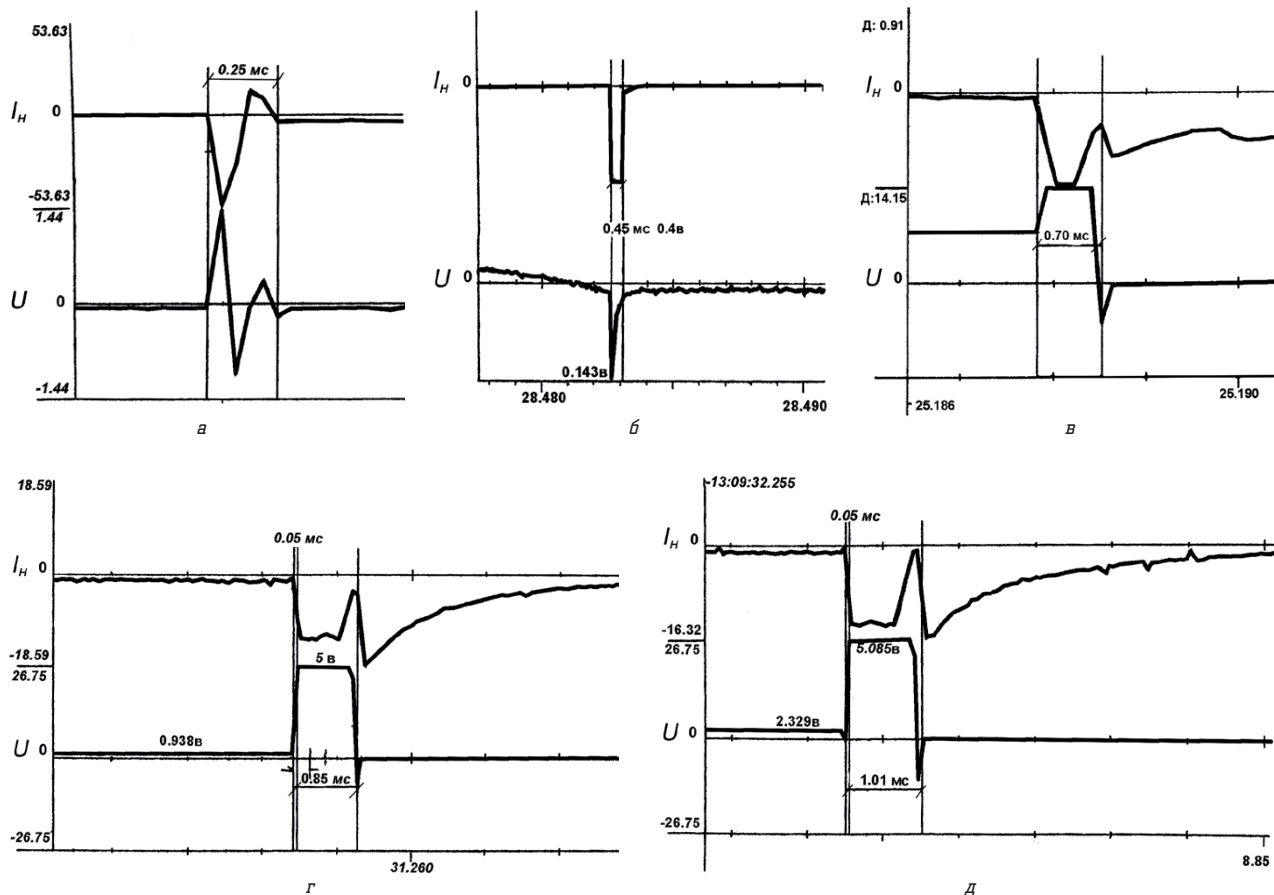


Рис. 2. Типичные осциллограммы отключения тока нагрузки за: а — 250 мкс; б — 450 мкс; в — 700 мкс; г — 850 мкс; д — 1010 мкс

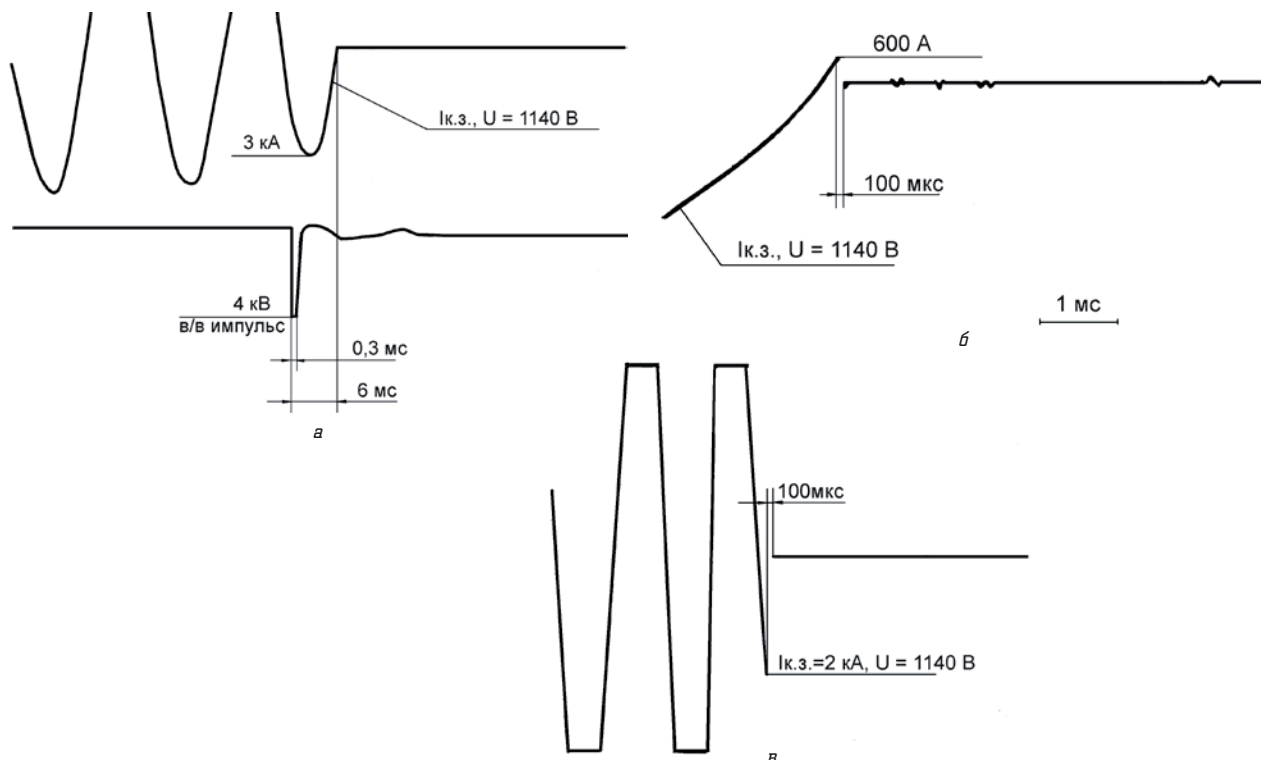


Рис. 3. Осциллограммы отключения токов к.з., равных 3 кА (а), 600 А (б) и 2 кА (в)

Типичная схема электроснабжения откаточного штреха и расстановки на нем электрооборудования приведена на рис. 4, из которого следует, что группа пусковой аппаратуры, расположенной на РПП участка может быть успешно заменена станцией нового поколения (рис. 5), базирующейся на использовании экологически чистой защитной аппаратуры, созданной на основе быстродействующих электрогидравлических взрывных предохранителей (ЭГДП-1, ЭГДП-2, ЭГДП-3 и ЭГДП-4).

Включая общий генератор импульсных токов (ГИТ), станция должна обеспечивать независимую работу всех четырех быстродействующих аппаратов защиты, выполняющих функции автоматических выключателей АФВ-1, АФВ-2, АФВ-3 и АВ-1, причем отключение аварийного элемента, если таковое возникает в процессе эксплуатации, осуществляется за минимальное время, при котором не может произойти под-

жигание метано-воздушной среды на всем участке, в данном конкретном случае — откаточном штрехе.

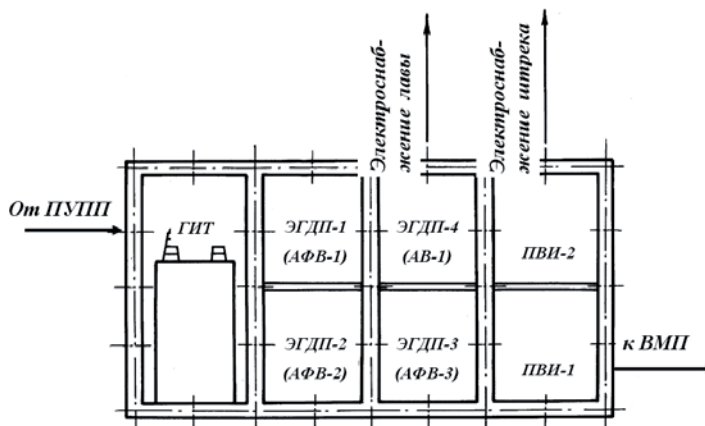


Рис. 5. Магнитная станция нового поколения на основе электрогидравлических взрывных элементов

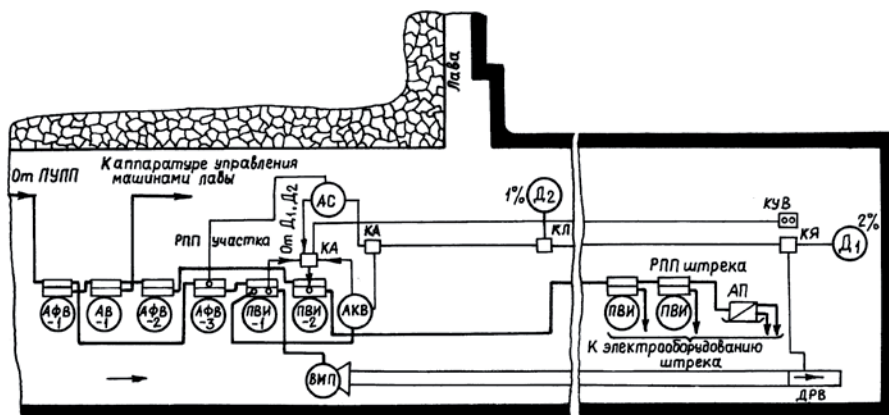


Рис. 4. Типичная схема электроснабжения откаточного штреха и расстановки электрооборудования

### 5. Выводы

В результате проведенных исследований было создано сверхбыстродействующее взрывное устройство на электрогидравлической основе, позволяющее отключить поврежденный участок сети до воспламенения им окружающей среды.

На базе указанного устройства был разработан трехфазный коммутационный аппарат нового поколения. Выполненная работа позволила создать концепцию



взрывобезопасной магнитной станции на принципиально новой элементной базе.

Таким образом, предполагаемые подходы к созданию и комплектованию коммутационной и защитной аппаратуры РПП участка позволяют принципиально повысить безопасность систем подземного электроснабжения угольных шахт всех категорий по газу или пыли, переведя все силовое электрооборудование по существу в исполнение «РО».

### Литература

1. НПАОП 10.1-1.01-05. Правила безпеки у вугільних шахтах [Текст]. — К.: Відлуння, 2005. — 398 с.
2. Розловский, А. И. Научные основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами [Текст] / А. И. Розловский. — М.: Химия, 1972. — 368 с.
3. Ткачук, С. П. Взрывопожаробезопасность горного оборудования [Текст] / С. П. Ткачук, В. П. Колосюк, С. А. Ихно. — К.: Основа, 2000. — 694 с.
4. Корольков, В. Л. Использование взрывного коммутатора для токоограничения [Текст] / В. Л. Корольков, В. А. Даценко, Г. Я. Шимкевич // Промышленная электроника. — 1979. — № 7. — С. 33–35.
5. Корольков, В. Л. Ограничение перенапряжений во взрывном коммутаторе [Текст]: научно-технический реферативный сборник / В. Л. Корольков, А. А. Сивков // Электротехническая промышленность. Серия: Аппараты низкого напряжения. — 1979. — Вып. 3. — С. 5–6.
6. Корольков, В. Л. Защита электрических сетей 0,4 кВ взрывным коммутатором [Текст] / В. Л. Корольков, В. А. Даценко // Известия ВУЗов. Энергетика. — 1977. — № 11. — С. 113–117.
7. Мнухин, А. Г. Применение электрогидравлических технологий в угольной промышленности при ликвидации шахт [Текст]: сб. материалов Международных семинаров / А. Г. Мнухин // Опыт ликвидации неперспективных предприятий в Украине, Российской Федерации, республике Казахстан. — Донецк, 2002. — С. 117–118.
8. Колесов, О. А. Исследование возможности повышения эффективности гидродинамического воздействия на угленосную толщу путем использования электрогидравлического эффекта [Текст]: тезисы докладов V научно-технической конференции / О. А. Колесов, А. Г. Мнухин, Л. А. Вайнштейн, Б. Д. Шевченко, В. А. Ольховиченко, В. И. Емельяненко. — Николаев, 1992. — С. 8–10.
9. Мнухин, А. Г. Применение разрядно-импульсной технологии для восстановления пропускной способности водоводных магистралей в условиях крупного металлургического предприятия [Текст] / А. Г. Мнухин, А. М. Брюханов, И. П. Горошко, Н. И. Панченко, В. Н. Редя // Металл и литье Украины. — 2003. — № 6. — С. 49–51.
10. Мнухин, А. Г. Устройство для очистки внутренней поверхности водоводных труб в условиях металлургического производства [Текст] / А. Г. Мнухин, В. А. Мнухин // Сборник научных трудов Национального горного университета. — Днепропетровск, 2003. — № 12, Т. 2. — С. 203–205.
11. Пристрій для захисту від струмів короткого замикання [Електронний ресурс]: Патент України № 29361 / Мнухин А. Г., Брюханов О. М., Йорданов І. В., Муфель Л. А., Горошко І. П., Громовий М. П. — № 200710315; заявл. 17.09.2007; опубл. 10.01.2008; Бюл. № 1. — Режим доступу: \www/URL: http://uapatents.com/3-29361-pristriij-dlya-zakhistu-vid-strumiv-korotkogo-zamikannya.html

12. Пристрій для захисного вимикання в електричних мережах вибухонебезпечних виробництв [Електронний ресурс]: Патент України № 38871 / Мнухин А. Г., Громовий М. П., Брюханов О. М., Муфель Л. А., Горошко І. П., Йорданов І. В. — № 200809470; заявл. 21.07.2008; опубл. 26.01.2009; Бюл. № 2. — Режим доступу: \www/URL: http://uapatents.com/3-38871-pristriij-dlya-zakhisnogo-vimikannya-v-elektrichnikh-merezhakh-vibukhonebezpechnikh-virobnictv.html

### ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ

У роботі показана можливість та намічені шляхи створення надшвидкодуючої комутаційної апаратури, призначеної для експлуатації на вугільних шахтах, небезпечних за газом або пилом, що виключають підпалювання вибухонебезпечного середовища. Результатом впровадження таких пристроїв буде зниження аварійності на підприємствах вугільної промисловості.

**Ключові слова:** електроенергія, електропостачання, шахта, вибух, відключення, вогнище займання, коротке замикання, станція магнітна.

*Мнухин Анатолий Григорьевич, доктор технических наук, академик Украинской Академии наук, академик Академии технологических наук Украины, академик Академии инженерных наук Украины, академик Международной Академии авторов научных открытий и изобретений, заслуженный изобретатель Украины, профессор кафедры физической и биомедицинской электроники, Запорожская государственная инженерная академия, Украина, e-mail: anatoly.mnukhin@gmail.com.*

*Йорданов Игор Вячеславович, академик Международной Академии авторов научных открытий и изобретений, директор, Закрытое акционерное общество «ТЭТЗ-ИНВЕСТ» (Торезский электротехнический завод), Донецкая обл., Украина, e-mail: gendir@eme.kiev.ua.*

*Мнухин Анатолий Григорьевич, доктор технічних наук, академік Української Академії наук, академік Академії технологічних наук України, академік Академії інженерних наук України, академік Міжнародної Академії авторів наукових відкриттів і винаходів, заслужений винахідник України, професор кафедри фізичної та біомедицинської електроніки, Запорізька державна інженерна академія, Україна.*

*Йорданов Игор Вячеславович, академік Міжнародної Академії авторів наукових відкриттів і винаходів, директор, Закрите акціонерне товариство «ТЭТЗ-ИНВЕСТ» (Торезький електротехнічний завод), Донецька обл., Україна.*

*Mnukhin Anatoly, Zaporizhia State Engineering Academy, Ukraine, e-mail: anatoly.mnukhin@gmail.com.*

*Yordanov Igor, Closed Joint Stock Company «TETZ-INVEST» (Torez electrotechnical plant), Donetsk region, Ukraine, e-mail: gendir@eme.kiev.ua*