

УДК 621.31; 622.33.012.2

О.А. ДЕМЧЕНКО, канд. техн. наук, и.о. директора,
Л.А. МУФЕЛЬ, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,
Л.А. РОМЕНСКАЯ, науч. сотрудник,
И.Г. СОДУХ, инженер; *МакНИИ, г. Макеевка*

ОЦЕНКА ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЕЙ ТИПА ПБВ

Разработан безыскровой пускатель типа ПБВ с применением нового вида взрывозащиты – неискрящая силовая цепь, обладающий достаточными техническими мерами защиты для предупреждения развития опасностей, возникающих в шахтах.

Ключевые слова: пускатель, взрывозащита, авария, безыскровая электрическая часть, промышленная безопасность, электробезопасность, взрывобезопасность.

Магнитные пускатели являются самым распространенным коммутационным аппаратом, с помощью которых осуществляется распределение электрической энергии между потребителями (электроприёмниками) и выполнение электрических защит в цепи электроснабжения (отходящего присоединения).

Конструкция и электрическая схема выпускаемых пускателей морально устарели, поскольку за последние 60 лет совершенствование их коснулось только за счет применения вакуумных контакторов. Оценивать промышленную безопасность таких пускателей вряд ли целесообразно, так как они являются причиной взрывов и пожаров на шахтах [1].

Целью работы является обоснование нового подхода к оценке промышленной безопасности магнитных пускателей на основе нормативных требований и путём анализа технических мер защиты, реализуемых в изделиях такого назначения.

Анализ причин взрывов и пожаров, а также опыт эксплуатации и обслуживания магнитных пускателей позволили разработать новый пускатель безыскровой взрывобезопасный типа ПБВ, который обладает достаточными техническими мерами защиты, чтобы противостоять тяжелым природным условиям, любым неосторожным и неправильным действиям человека, сохраняя при этом взрывобезопасные свойства.

Пускатель типа ПБВ кардинально отличается от известных разработок, поскольку в нем впервые предусмотрены:

- оболочка пускателя с конфигурацией в виде прямоугольного параллелепипеда с отделениями: искробезопасных цепей в исполнении РО Иа и безыскровой силовой цепи в исполнении РВ1В ИаС;
- отделение искробезопасных цепей с прозрачной (из поликарбоната) крышкой, обеспечивающей визуализацию индикаторов, сигнализирующих о работе функциональных блоков;
- безыскровая силовая электрическая часть, исключая условия воспламенения метановоздушной смеси (МВС);
- недоступность к токоведущим силовым цепям, исключая условия поражения людей электрическим током путём защитного изолирования токоведущих частей и зажимов присоединения;
- развитая информационно-диагностическая система с автоматическим выделением схемных и параметрических отказов;
- автоматический контроль содержания метана внутри взрывонепроницаемых отделений и защитное отключение пускателя в случае превышения допустимой концентрации метана;
- автоматическая проверка функционирования электрических защит;
- защита нового поколения от короткого замыкания и перегрузки с автоматическим расчетом и вводом уставок;
- защита от замыкания фазы на корпус посредством защитной изоляции нетоковедущих частей;
- автоматическое отключение напряжения с взрывонепроницаемого отделения при открывании крышки;
- быстросрабатывающее отключение (за время не более 1 мс) в аварийных режимах;
- прогностический контроль изоляции токоведущих частей пускателя и отходящего присоединения;
- отключение контактора при переходе тока через нулевое значение;
- контроль параметров цепи местного заземления;
- защита от недопустимой асимметрии фаз и неполнофазного режима работы сети;
- электрическая блокировка, препятствующая включению пускателя при сопротивлении изоляции в отходящем присоединении ниже допустимого уровня;
- профилактический контроль сопротивления изоляции электрической части пускателя и отходящего от него присоединения;
- контроль температуры и влажности воздуха внутри взрывонепроницаемого отделения;
- проверка работоспособности блоков и узлов электрической части пускателя при рабочем напряжении и прямом включении их в работу с блокировкой подачи напряжения в отходящее присоединение;

- блокировка включения напряжения при открытой крышке;
- звуковая предупреждающая сигнализация об открытой крышке взрывонепроницаемого отделения;
- регистрация основных данных (токовая нагрузка, срабатывание электрических защит и блокировок, уставок защит и др. параметров) в реальном масштабе времени;
- передача и контроль данных о техническом состоянии пускателя на поверхность диспетчеру с использованием интерфейса RS485.

В пускателе впервые реализована новая концепция обеспечения безопасности использования электрической энергии в шахтах, основанная на применении двух и более независимых и дублирующих друг друга линий защит для предотвращения взрывов, пожаров и поражения людей электрическим током.

Используя пускатель типа ПБВ, можно расширить область применения электрооборудования при размещении его на вентиляционных штреках пластов крутого, пологого и наклонного падения, опасных по газодинамическим явлениям [2].

Работа в шахтах постоянно представляет потенциальную опасность. Для оценки промышленной безопасности любого объекта используют количественные и качественные методы анализа. Следует отметить, что все методы оценки носят субъективный характер, поскольку результаты оценки основаны на использовании знаний и массива данных, собранных при эксплуатации изучаемого объекта. При этом, как правило, не учитываются нормативные требования, регламентирующие создание наиболее совершенного изделия с точки зрения безопасности, которое должно обладать достаточными техническими мерами по предупреждению развития опасных ситуаций, возникающих в шахтах.

Для объективной оценки промышленной безопасности магнитных пускателей, использован метод построения дерева опасностей и экспертные методы оценки, как менее трудоемкие и основанные на использовании: знаний формирования опасностей, анализа опасностей, опыта эксплуатации, требований нормативных документов, функций и защитных характеристик конструкции и электрической части изделия. Экспертная оценка основана на привлечении ведущих специалистов в данной области.

К настоящему времени освоено серийное производство безыскрового взрывобезопасного пускателя типа ПБВ, который разработан с учетом цельного представления об области знаний по безопасности для данного вида изделий и полностью удовлетворяет технической безопасности при воздействии негативных факторов.

Это подтверждается безопасными свойствами безыскрового пускателя, иллюстрируемые моделями (рис.1 – рис.4), раскрывающими структуру

технических мер безопасности.

Система научно-технического обеспечения безопасности пускателя (рис.1) содержит три подсистемы: взрывопожаробезопасность пускателя; электробезопасность человека; информационно-диагностическое обеспечение.



Рис. 1. Модель системы безопасности пускателя типа ПБВ

Эти подсистемы содержат комплекс технических средств, позволяющих дать цельное представление о факторах, определяющих безопасные характеристики и параметры безыскрового взрывобезопасного пускателя, которые предупреждают опасности и нежелательные события, возникающие в шахтах в связи с применением электрической энергии.

Подсистема взрывопожаробезопасности пускателя и подсистема электробезопасности человека выполняют функции особой безопасности: защита человека от поражения электрически током; предотвращение взрывов и пожаров даже при наличии в выработках газовой среды с недопустимой концентрацией метана.

На рис. 2 приведена совокупность технических мер, необходимых для обеспечения взрывопожаробезопасности пускателя. Данная подсистема содержит меры безопасности, направленные на устранение источника воспламенения метана в выработках с помощью взрывонепроницаемой оболочки, нейтрализацию токов утечки и выполнение силовой электрической части безыскровой.

До настоящего времени основным видом взрывозащиты электрооборудования является взрывонепроницаемая оболочка. Для обеспечения параметров взрывозащиты, как видно из приведенной модели (см. рис.2), необходимо осуществлять: контроль параметров взрывозащиты, периодический контроль состояния оболочки, поддержание в работоспособном состоянии электромеханических блокировок. Эти функции возлагаются на человека и, как показывают причины взрывов и пожаров, эффективность их низкая.

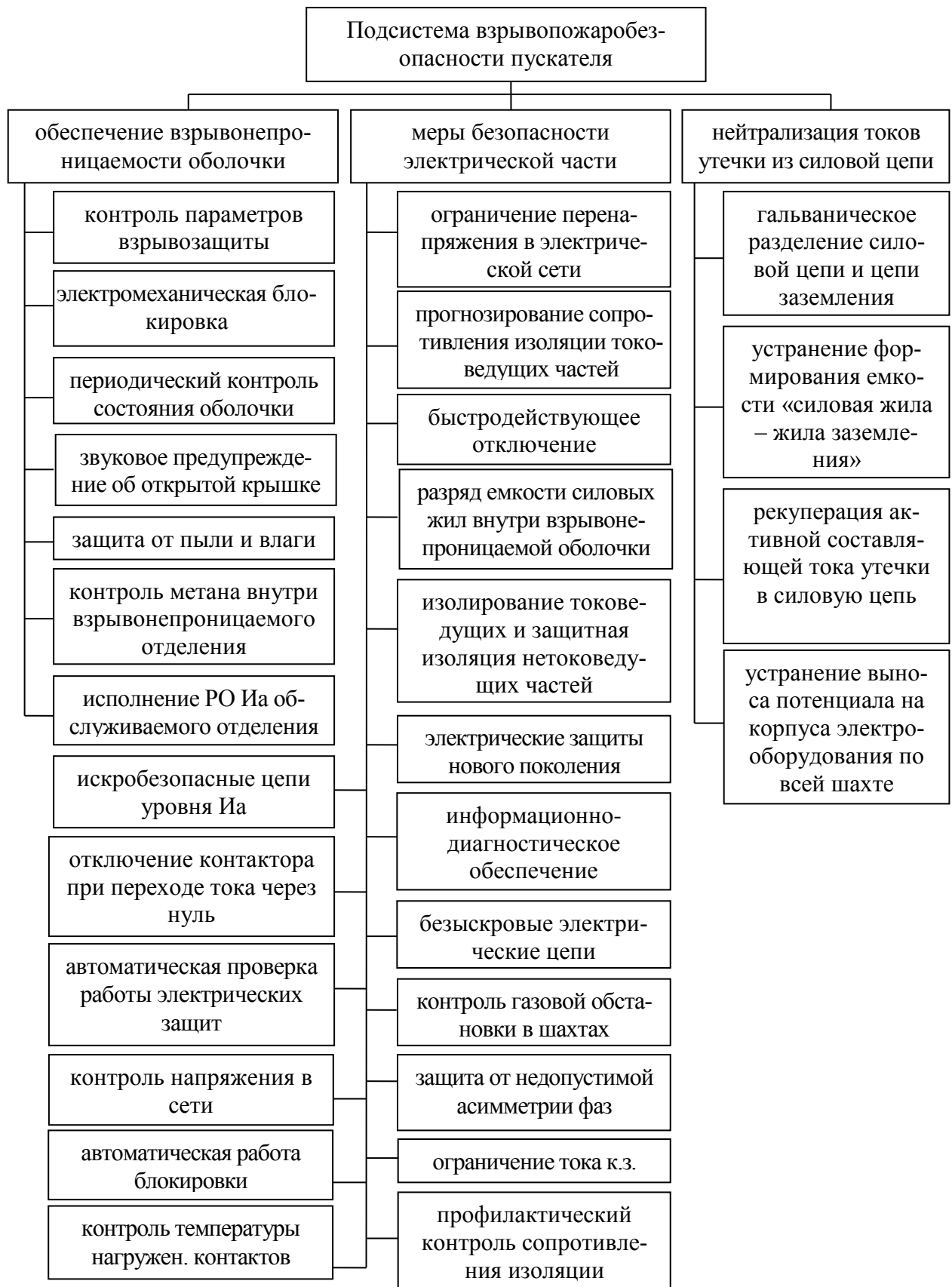


Рис. 2. Модель подсистемы взрывопожаробезопасности пускателя типа ПБВ

Особенно следует отметить, что взрывонепроницаемая оболочка, как вид взрывозащиты от воспламенения МВС в выработках, не обеспечена средствами автоматического контроля и защитного отключения в случае отклонения параметров взрывозащиты от нормированных требований. Поэтому в безыскровом пускателе введены дублирующие виды защиты: контроль содержания метана внутри взрывонепроницаемых отделений, безыскровая электрическая часть. Впервые в его конструкции обслуживаемое отделение содержит только искробезопасные цепи и имеет исполнение РОИа, что позволяет гарантированно исключить условия воспламенения МВС даже при открытой крышке данного отделения.

В пускателе впервые разработана и применена новая конструкция электромеханической блокировки, функции назначения которой, впервые выполняются автоматически. Предусмотрена также звуковая сигнализация, предупреждающая обслуживающий персонал об открытой крышке отделения силовой цепи.

Электрическая система безопасности в пускателе имеет следующие особенности и характеристики: автоматический режим работы; высокая эксплуатационная надежность; постоянная готовность к работе; гарантированное быстроедействие; высокая защищенность от внешних воздействий (природных, технических и со стороны персонала); детерминированность использования и поведения.

Выполнение электрической части пускателя безыскровой повысило безопасные свойства взрывонепроницаемой оболочки. Чтобы силовые цепи пускателя были безыскровыми, они содержат не искрящие блоки и узлы, что позволяет, как отмечено ранее, устранить источник воспламенения МВС даже при открытой крышке взрывонепроницаемого отделения. В пускателе исключены условия для возникновения к.з. внутри отделений, искрения и недопустимого нагрева.

В пускателе впервые применен блок защиты нового поколения, в котором для распознавания режима к.з. не требуется увеличения тока для достижения чувствительности и зоны действия защиты. Данная защита устраняет недостатки широко применяемой во всех отраслях максимальной токовой защиты (МТЗ), которая не реагирует на замыкание с переходным сопротивлением и на дуговое замыкание вследствие резкого снижения тока к.з. в этих режимах. Для устойчивой работы такой защиты требуется увеличение тока к.з., что с точки зрения безопасности не допустимо.

Безопасные свойства электрической части достигаются: быстроедействующим отключением в аварийных режимах; прогнозированием состояния изоляции силовых токоведущих частей; разрядом емкости силовых жил внутри взрывонепроницаемой оболочки после отключения напряжения с пускателя; изолированием токоведущих частей, в том числе в местах

присоединительных зажимов; автоматическим определением возникающих отказов.

Особо следует выделить нейтрализацию токов утечки из силовой цепи, устраняющую условия для искрения, поражения людей электрическим током, в том числе при замыкании фазы на корпус, вынос опасного потенциала на корпуса электрооборудования в шахте.

Подсистема электробезопасности человека (рис. 3) предусматривает технические меры по недопущению травмирования его электрическим током.

Она содержит широко применяемые в отрасли технические меры, такие как местное заземление, средства защиты от утечек тока и от поражения электрическим током, а также защиту от прикосновения к токоведущим частям.

Местное заземление корпуса пускателя, равно как и других видов электрооборудования, является широко распространенной мерой безопасности для защиты от поражения электрическим током. В пускателе впервые предложено ввести схемный контроль цепи заземления, с помощью которого измеряется токопроводность данной цепи, в том числе переходное сопротивление «заземлитель–почва», которое не должно превышать 2 Ом [2]. С учетом такого подхода отпадает необходимость регламентированного требования ежесменного осмотра и периодического измерения переходного сопротивления заземлителя.

В пускателе по-новому решены вопросы пассивной защиты от прикосновения человека к токоведущим частям за счет их защитного изолирования, ограждения специальными перегородками из изоляционного материала и введения защитной изоляции нетоковедущих частей.

Защитное изолирование выполнено путем наложения изоляции на все токоведущие части, включая присоединительные зажимы, а защитную изоляцию – на внутренние поверхности корпуса взрывонепроницаемых отделений пускателя, которые в нормальном состоянии не являются токоведущими. Защитная изоляция является средством защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям. Данная техническая мера защиты также устраняет аварийный режим, вызванный замыканием фазы на корпус. Предусматривая защитную изоляцию нетоковедущих частей с сопротивлением, равным сопротивлению основной изоляции токоведущих частей, можно местное заземление рассматривать как резервную линию защиты от поражения электрическим током.

Защитное отключение в случае прикосновения к токоведущим частям осуществляется устройством защиты от утечек тока. Для блокировки подачи напряжения в электрическую сеть с пониженным сопротивлением

изоляция используется блок контроля изоляции, который измеряет сопротивление изоляции перед каждым включением в работу электрооборудования. Меры, предусмотренные в пускателе, дублируют друг друга и не допускают формирование сценария для электропоражения человека электрическим током.

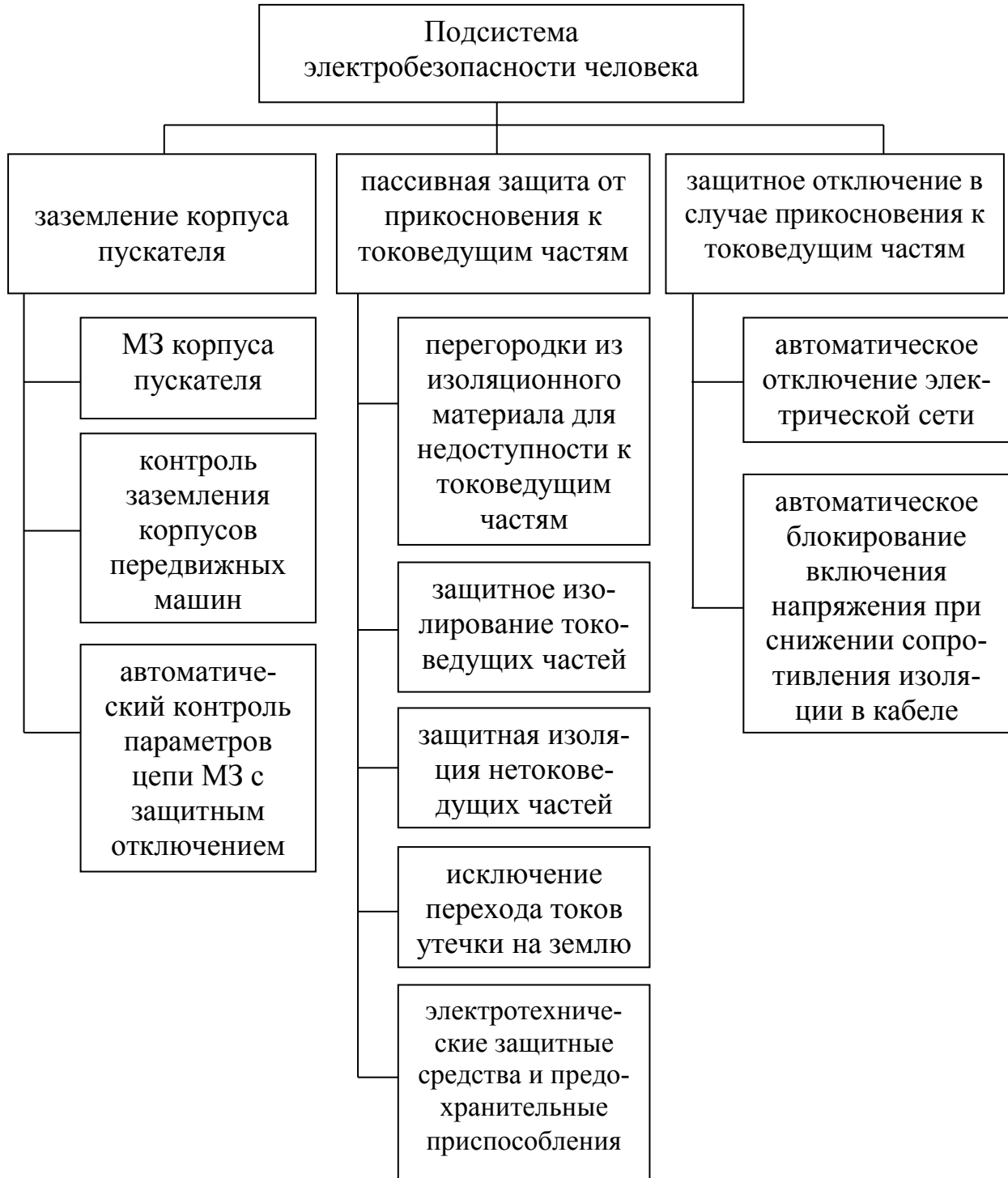


Рис. 3. Модель подсистемы обеспечения электробезопасности человека

Подсистема информационно-диагностического обеспечения (рис. 4) является одной из технических мер защиты, которая решает вопросы оценки технического состояния пускателя и обеспечения его взрывобезопасности.



Рис. 4. Модель подсистемы информационно-диагностического обеспечения

Последнее обусловлено тем, что для определения возникающих отказов не требуется вскрывать крышки взрывонепроницаемых отделений при включенном напряжении и, следовательно, не происходит нарушение взрывобезопасности пускателя. Крупные взрывы и пожары на шахтах происходят, как правило, при поиске и устранении возникающих отказов [3].

Предусмотренное в пускателе информационно-диагностическое обеспечение с дисплеем позволяет автоматически определять возникающие отказы в электрической части пускателя и в отходящем кабельном присоединении. Оно предусматривает средства для определения схемных и параметрических отказов с расширенным объемом контролируемых па-

раметров.

Информационно-диагностическая подсистема позволила исключить выделение в пускателе обслуживаемого отделения и применение быстрооткрываемой крышки.

В информационно-диагностической подсистеме обеспечения предусмотрено блок с функцией «черного ящика», с помощью которого осуществляется регистрация и хранение параметров, характеризующих состояние электрической части и конструкции в реальном масштабе времени. Основные параметры регистрации: текущее значение рабочего тока; время срабатывания электрических защит; уставка тока и чувствительность защиты от токов к.з.; содержание метана внутри взрывонепроницаемых отделений; возникающие отказы; сопротивление изоляции силовой цепи; влажность внутри отделений и температура нагрева нагруженных контактных соединений; открытая крышка взрывонепроницаемых отделений.

С учетом тенденции к централизации сведений в специальных пунктах, в электрической части пускателя сформированы сигналы, характеризующие его техническое состояние, для передачи по специальному каналу (например, интерфейс RS 485) данных в другие удаленные места (диспетчеру на поверхности и т.д.). Этот канал используется для контроля параметров безопасности пускателя уполномоченными лицами с поверхности шахты.

В целом, как уже отмечалось, пускатель противостоит возникающим в шахтах аварийным ситуациям, а также неосторожным и неправильным действиям обслуживающего персонала.

Чтобы правильно оценить безопасные свойства безыскрового пускателя и показать его, как изделие, соответствующее высшему уровню безопасности на данный период, приведем основные показатели (требования) ему присущие:

- силовые цепи выполнены безыскровыми;
- взрывобезопасность оболочки обеспечивается не менее двумя независимыми и дублирующими друг друга линиями защиты;
- информационно-диагностическое обеспечение имеет глубокую диагностику и расширенный объем информации;
- диагностика выполняется автоматически с выдачей конкретной информации;
- предусмотрены меры защиты от поражения электрическим током;
- устранены условия для возникновения технических угроз;
- исключено влияние человеческого фактора;
- электрическая защита от токов к.з. быстродействующая и имеет не менее двух линий для распознавания данного вида повреждения;
- наличие блока с функциями «черного ящика» для регистрации и

хранения параметров, характеризующих работу пускателя в реальном масштабе времени;

– контроль параметров электрических защит и технического состояния с поверхности;

– высокая эксплуатационная надежность пускателя;

– постоянная готовность к работе.

Разработанный безыскровой взрывобезопасный пускатель полностью соответствует изложенным требованиям. Кроме того, технические решения электрической части и конструкции предотвращают развитие техногенных аварий, вызванных применением электрической энергии.

Используя результаты экспертного анализа технических решений пускателя типа ПБВ, и учитывая соответствие его современным требованиям, данный пускатель следует отнести к безопасной технике с вероятностью, близкой к единице. На сегодняшний день пускатель типа ПБВ является эталонным изделием, что позволяет, сравнивая с ним, производить более точную оценку других аналогичных разработок.

Таким образом, безыскровой пускатель типа ПБВ не создает опасностей при эксплуатации не только в шахтах, опасных по газу или пыли, но и в других отраслях с взрывоопасной средой.

ВЫВОДЫ

1. Впервые предложен новый подход к оценке промышленной безопасности магнитных пускателей нового поколения, основанный на анализе технических мер безопасности и нормативных требований, реализуемых в изделиях такого назначения.

2. Обоснована структура технических мер безопасности, предусматривающая совокупность схемных и конструктивных решений с дублированием линий защиты для устранения действия природных факторов и влияния человеческого фактора на формирование опасных событий.

3. Разработаны технические требования к безыскровым магнитным пускателям, реализация которых исключает сценарии опасных угроз в шахтах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новая стратегия безопасности применения электрической энергии в шахтах / А.М. Брюханов, Л.А. Муфель, А.Б. Кац, А.А. Дубинский // Уголь Украины. – 2012. – № 9. – С. 12-14.

2. Правила безопасности в угольных шахтах: НПАОП 10.0-1.01-10.– Офиц. из-во. – К.: Редакция журнала «Охрана труда». – 2010. – 431 с.

3. Колосюк В.П. Техника безопасности при эксплуатации рудничных электроустановок / В.П. Колосюк . – М.: Недра, 1987. – 407 с.

Получено: 11.04.17

A sparkles starter type PBV with the use of new protection type – non-sparking power supply circuit has been developed, which shows sufficient technical protective features for hazard prevention in mines.

Keywords: explosion safety, accident, nonsparking electrical unit, industrial safety, electrical safety, explosion safety.