

УДК 621.315.22

М.В. ГРИШИН

канд. техн. наук, заведующий лабораторией
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: mvgrishin@gmail.com



О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ КОНСТРУКЦИИ ШАХТНЫХ ГИБКИХ КАБЕЛЕЙ И ИХ ОЦЕНКЕ КАК ИСТОЧНИКА ВОСПЛАМЕНЕНИЯ МЕТАНА

Приведен анализ направлений совершенствования конструкции шахтных гибких кабелей, методов их контроля для снижения вероятности возникновения опасного источника искрения. Показано, что защищенность кабеля должна прежде всего определяться его конструкцией, а основным критерием должно быть испытание кабеля во взрывной камере на раздавливание или удар под напряжением при включенной защите от замыкания.

Ключевые слова: ШАХТНЫЕ ГИБКИЕ КАБЕЛИ, ОПЕРЕЖАЮЩЕЕ ОТКЛЮЧЕНИЕ, ДВОЙНАЯ ОБОЛОЧКА, ГИБКАЯ БРОНЬ, ОПЛЕТКА, ОБМОТКА, РАЗДАВЛИВАНИЕ, УДАР

Во время расследования аварий на шахтах в качестве одного из наиболее вероятных источников воспламенения всегда рассматривается гибкий кабель. Конечно, частое списывание причины взрыва на кабель у многих вызывает сомнения, но по результатам исследований обычный кабель с резиновой изоляцией и оболочкой представляет реальную опасность даже при нормальном срабатывании электрических защит. Если у кабеля при механическом воздействии повреждается резиновая оболочка, то в дальнейшем при пробое изоляции могут возникнуть опасные открытые искрения при прохождении кратковременного тока замыкания по полупроводящему экрану на заземляющую жилу.

Недостаточно защищенный резиновый кабель рассматривался в качестве источника воспламенения и при расследовании аварии 25.02.2016 г. на шахте «Северная» (Воркута). В связи с этим, в п. 417 «Правил безопасности в угольных шахтах» [1] было внесено следующее изменение: «присоединение передвижных машин и механизмов в очистных или подготовительных забоях, а также на участках горных выработок, отнесенных к опасным по слоевым скоплениям метана, выполняют гиб-

кими кабелями, конструкция которых обеспечивает при повреждении наружной оболочки кабеля отключение кабеля до повреждения изоляции основных жил и возникновения короткого замыкания».

Для выполнения данного изменения необходим кабель с контролирующим элементом, выдающим сигнал на защитную аппаратуру при недопустимом механическом воздействии, а также дополнительный блок защиты, который при повреждении изоляции должен срабатывать раньше существующих защит от токов замыканий при пробое изоляции.

В настоящее время наиболее реально выполнение контролирующего элемента внутри двухслойной оболочки в виде гибкой медно-стальной брони в форме оплетки или обмотки, выполняющей роль второго (внешнего) экрана (рисунок 1).

При повреждении наружной оболочки кабеля (передавливание, смятие) происходит замыкание внешнего экрана с заземленными экранами основных жил или жилой заземления. В результате этого срабатывает защитное устройство и снимает напряжение с кабеля до повреждения изоляции основных жил и возникновения короткого замыкания.

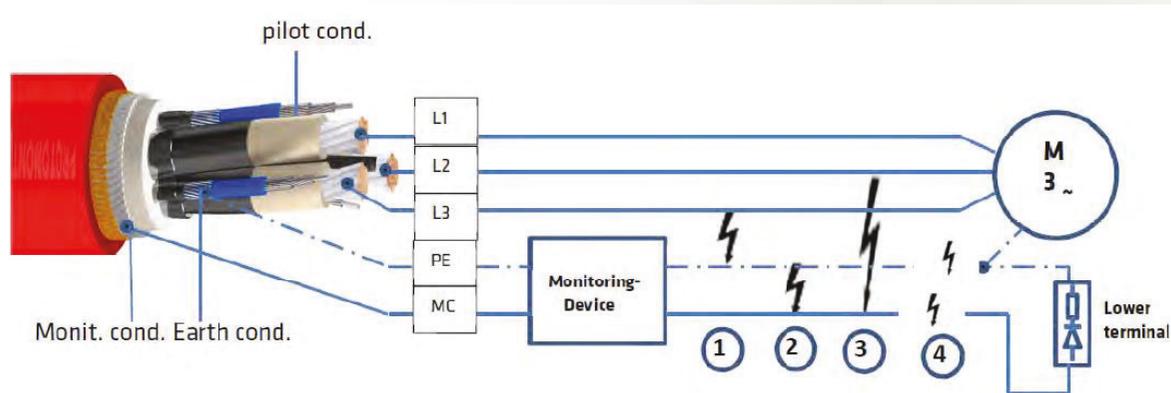


Рисунок 1 – Схема опережающего контроля при повреждении кабеля фирмы Prysmian

Схему опережающей защиты с гибкой металлической броней в оболочке шахтного кабеля пробовали применять еще в 1932 г. [2] в кабеле для врубовых машин, выпущенном немецкой фирмой «Ланд унд Зекабель Верке». Защитная оплетка между внутренней и наружной оболочкой выполнялась так, что в одном направлении шли пряди хлопчатобумажного волокна, а в другом, перекрестном направлении, - переплетающиеся с ними пряди из тонких медных проволок вперемежку с хлопчатобумажными нитями. Отдельные медные пряди соединялись на концах кабеля последовательно при помощи специальных контактов и включались в цепь нулевого реле, питаемого от понижающего трансформатора 220/24 В, встроенного в штрековый выключатель. Основными недостатками этой конструкции кабеля являлся быстрый износ оплетки под действием шахтных вод, трудность обнаружения повреждения и сложность ремонта.

До 1970 г. единственным типом экранированных кабелей низкого напряжения, допущенным к эксплуатации в польской горной промышленности, были кабели с резиновой изоляцией с отдельным экраном, изолированным относительно земли [3]. Применение этих кабелей с соответствующими защитными устройствами гарантирует отключение напряжения сети при замыкании экрана с рабочей жилой, замыкании вспомогательной жилы с экраном и замыкании экрана на землю (повреждение внешней резиновой оболочки заземленным предметом). Основными недостатками этой системы защиты являются

частое, нежелательное с точки зрения условий эксплуатации и техники безопасности, отключение напряжения и трудность обеспечения соответствующего взаимодействия системы защиты с общесетевой защитой от утечек.

Для выяснения эффективности действия опережающего отключения кабеля с гибкой броней в АО «НЦ ВостНИИ» был восстановлен стенд испытаний кабелей на удар бойком массой 20 кг с высоты 2 м. Схема стенда и типичная осциллограмма сигналов в цепи контроля изоляции фазы и в цепи контроля замыкания оплетки представлены на рисунке 2. Предварительные результаты испытаний кабелей с металлической оплеткой марок КГЭТКШм (АО «Сибкабель») и ТОФЛЕКС КГШРЭКП (ООО «Томский кабельный завод») показали, что энергии удара стенда для повреждения целого кабеля явно недостаточно. Если предварительно снять оболочку, то при серии ударов происходило опережающее замыкание оплетки на заземленные части кабеля.

В ПАО «НИКИ г. Томск» с целью оценки конструкции кабеля, обеспечения его отключения при передавливании или смятии до повреждения изоляции основных жил была разработана методика и специальный стенд, который включал гидравлический пресс с усилием до 30 тс, матрицу из клина и плоскости (рисунок 3) и блок контроля замыканий.

Стенд позволяет фиксировать усилия и расстояние между матрицами в моменты замыкания гибкой брони или фазы. Результаты предварительных испытаний кабеля марки КГЭТКШм (АО «Сибкабель») показали, что

гибкая броня из стальных стренг при пере-
давлении может повреждать изоляцию.
В связи с этим, в конструкцию были внесе-

ны изменения, позволяющие осуществлять
опережающее отключение при повреждении
оболочки до пробоя изоляции.

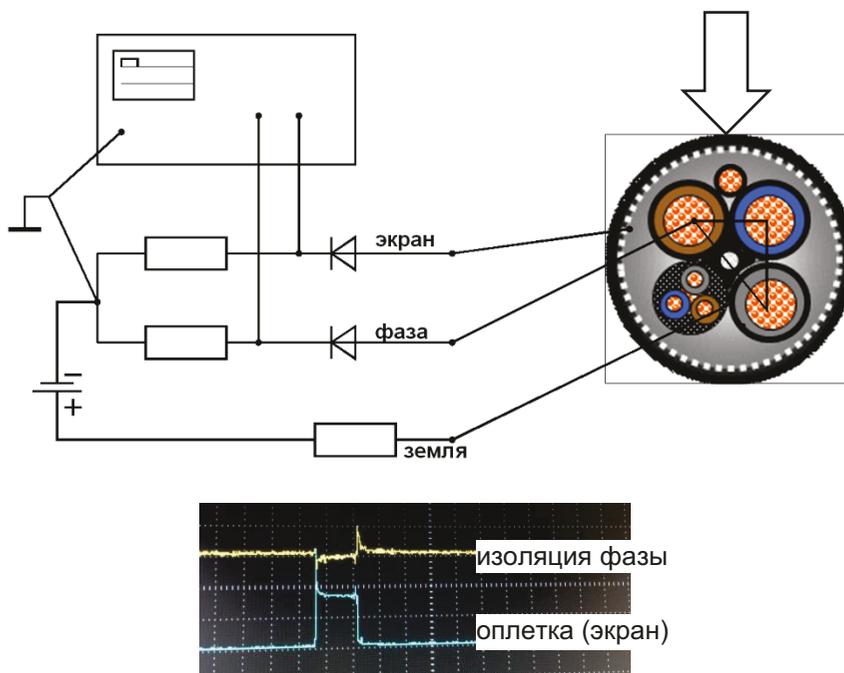
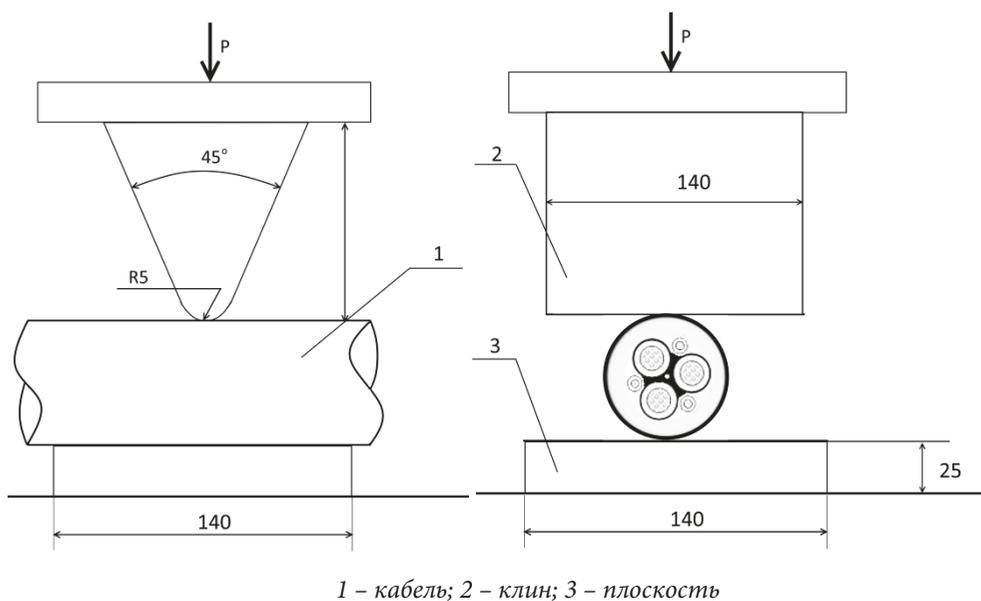


Рисунок 2 – Схема испытаний на удар



1 – кабель; 2 – клин; 3 – плоскость

Рисунок 3 – Стенд на раздавливание кабеля

Результаты проведенных исследований
показали, что схема опережающего отклю-
чения кабеля с использованием гибкой брони,
несмотря на принципиальную простоту, име-
ет ряд существенных недостатков:

1) Не ясна степень надежности защитно-
го замыкания изолированной гибкой оплетки

(брони) на заземленные части кабеля, особен-
но при воздействии непроводящих предме-
тов, например, острых кусков породы.

2) Существует возможность отключений
при незначительных повреждениях наружной
оболочки кабеля заземленным предметом.

3) Требуется разработка специальной ап-

паратуры контроля повреждений оболочки с обоснованными уставкой срабатывания и временем отключения.

4) Не разработаны методы подключения и ремонта кабеля с гибкой металлической оплеткой внутри двухслойной оболочки.

5) Кабели с гибкой металлической броней из-за высокой жесткости не могут быть применены для питания самоходных вагонов.

6) В кабелях для частотного привода для обеспечения электромагнитной совместимости гибкая броня в оболочке должна быть заземлена, что не позволяет использовать ее в качестве контрольной жилы для опережающего отключения (Требования п. 417 ПБ).

Следует отметить, что шахтные кабели с гибкой металлической броней серийно выпускаются отечественными и зарубежными изготовителями. Данная конструкция кабелей была разработана для повышения механической стойкости к раздавливанию, растяжению и кручению. Наличие гибкой брони также значительно снижает опасность открытого искрения при повреждении изоляции жилы. Для оценки данной конструкции кабеля к передавливанию и смятию рекомендуем ввести в ТУ на шахтные гибкие кабели существовавшие ранее испытания на раздавливание по ГОСТ 12182.6-80 [4]. Методика данных испы-

таний имеется в ПАО «НИКИ г. Томск».

В каталогах ведущих мировых фирм гибкая металлическая броня может быть выполнена в виде оплетки для кабелей волочения или обмотки для применения в кабелеукладчиках. Однако из-за высокой жесткости и малого ресурса на изгиб и кручение имеется тенденция более широкого применения в качестве упрочняющего элемента синтетических нитей. Кроме этого, механическую прочность кабеля значительно повышает применение в центре кабеля профилированного сердечника из электропроводящей резины, что повышает стойкость кабеля к раздавливающим и ударным нагрузкам. Наличие симметрии всех жил кабеля снижает возможность возникновения искроопасных наводок металлических частей оборудования. Эти и другие требования к конструкции шахтных кабелей отражены в международных стандартах EN 50628:2016 (Германия, Великобритания), ICEA S-75-381 (США), AS/NZS 1802:2003 (Австралия). Для создания не только безопасной, но и надежной конструкции шахтного гибкого кабеля необходимо рассмотреть и внести положения этих нормативов в отечественные стандарты. Типовая конструкция импортного шахтного гибкого кабеля Type 241 показана рисунке 4.

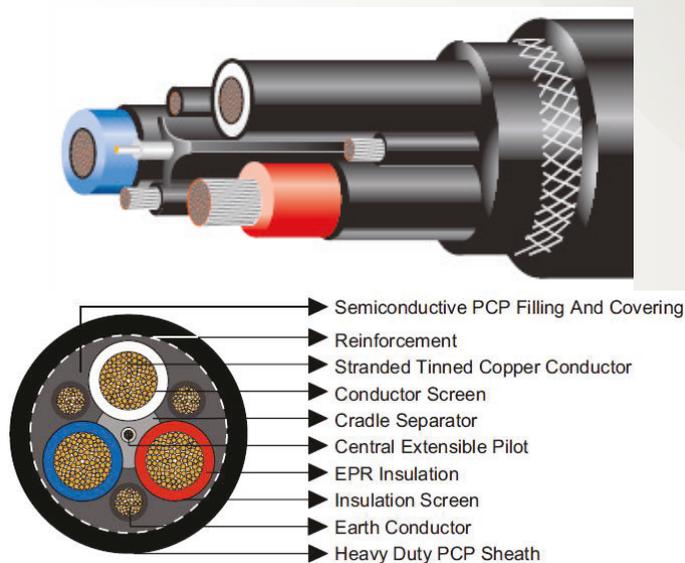


Рисунок 4 – Шахтный гибкий кабель Type 241

Общие требования к гибким кабелям как составляющим компонентам оборудования угольных шахт приведены в ГОСТ 31439-2011 [5]. Кроме того, в п. 4.3.6 данного стандарта указано, что «допускается не применять механическую защиту в случае, если кабели имеют электрическую защиту, отключающую электроснабжение до того, как произойдет короткое замыкание». Но при этом записано условие - «если произошло обнаружение дефекта заземляющего проводника», что делает эту защиту, в отличие от требований п. 417 ПБ, дополнительной к основным защитам от коротких замыканий и утечек.

Следует также отметить, что рассматриваемые требования к кабелям установлены в Правилах безопасности в угольных шахтах, которые с 2013 г. являются Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности. Однако, в соответствии с Законом о промышленной безопасности ФЗ-116 [6], такие документы преимущественно отражают деятельность работников и безопасность технологических процессов. Поэтому требования к конструкции шахтных кабелей следует устанавливать в стандартах и регламентах.

Перспективным направлением может быть применение оптического волокна внутри кабеля для мониторинга недопустимых механических деформаций. Гибкие кабели со

встроенным оптоволоконном для передачи информации выпускаются ведущими фирмами Prysmian, Nexans. Защита кабеля по оптоволокну используется на портовых кранах. Однако применение такой системы пока еще ограничивается значительной стоимостью. При широком внедрении передачи информации в шахте по оптоволокну, возможно, будет приемлемо и применение оптической системы контроля повреждений кабеля.

Вместе с тем, оценка реальной опасности повреждения шахтного гибкого кабеля может быть установлена только по результатам испытаний во взрывной камере. Такие стенды ранее использовались в МакНИИ и ВостНИИ [2, 7]. Повреждения кабеля (удар, сдавливание) производились внутри взрывной камеры (рисунок 5) в загазированной среде с содержанием в воздухе 8-9% метана. При этом на кабель подается рабочее напряжение и подключаются электрические защиты. Кабель подвергается механическому воздействию в виде удара или раздавливания. Безопасность конструкции кабеля определяется отсутствием вспышки метана в камере за время срабатывания аппаратуры контроля изоляции. Это может быть достигнуто как наличием контролирующих элементов в кабеле, так и самой конструкцией кабеля, обеспечивающей при повреждении изоляции замыкание внутри кабеля без возникновения внешнего искрения.



Рисунок 5 – Взрывная камера ВостНИИ для испытаний поврежденного кабеля

Таким образом, безопасность гибкого кабеля для угольных шахт зависит как от его конструкции, так и эффективности защитных устройств, а основным критерием оценки кабеля как возможного источника воспламенения метана должны быть его испытания на повреждение во взрывной камере при включенной защитной аппаратуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» (с изменениями на 31.10.2016) // Электронный фонд нормативной и правовой документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499060050> (дата обращения 03.07.2017).
2. Озерной М.И., Соболев В.Г. Шахтные гибкие кабели. – М.: Недра, 1966. – 256 с.
3. Электроснабжение и электрооборудование угольных шахт за рубежом // Н.И. Волощенко, Э.П. Островский, В.А. Ихно и др. – М.: Недра, 1983. – 270 с.
4. ГОСТ 12182.6-80. Кабели, провода и шнуры. Метод проверки стойкости к раздавливанию: введ. 01.01.1982 // Электронный фонд нормативной и правовой документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012188/> (дата обращения 03.07.2017).
5. ГОСТ 31439-2011 (EN 1710:2005). Оборудование и компоненты, предназначенные для применения в потенциально взрывоопасных средах подземных выработок шахт и рудников: введ. 15.02.2013 // Электронный фонд нормативной и правовой документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200097516/> (дата обращения 03.07.2017).
6. О промышленной безопасности опасных производственных объектов. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (с изменениями на 07.03.2017) // Электронный фонд нормативной и правовой документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9046058> (дата обращения 03.07.2017).
7. Шумейко В.И. Назначение гибких экранированных кабелей и методика их испытаний // Вопросы горной механики. Труды МакНИИ. Том IX. Выпуск 2. Под общей редакцией проф., д-ра техн. наук В.Д. Белого. – М.: Углетехиздат. – 1959. – С. 193–227.

M.V. Grishin

Candidate of Technical Science, laboratory head
JSC «NC VostNII», Kemerovo
e-mail: mvgrishin@gmail.com

IMPROVEMENT OF FLEXIBLE MINING CABLES DESIGN AND THEIR ESTIMATION AS THE SOURCE OF METHANE IGNITION

The analysis of improving ways for the flexible mining cables design, control methods of reducing the probability of a dangerous source of sparking is given. It is shown that the cable protection should be defined first of all by its design, and the major criterion should be the crushing or blowing under voltage with an enclosed protection against short circuit cable test in an explosive chamber.

Key words: FLEXIBLE MINING CABLE, FORWARD-LOOKING TRIPPING, DOUBLE COVER, FLEXIBLE ARMOR, OVERBRAID, ELECTRICAL WINDING, CRUSHING, BLOW

REFERENCES

1. Federalnye normy i pravila v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Pravila bezopasnosti v ugolnyh shahtah» (Federal Norms and Regulations in the Field of Industrial Safety. Safety Rules in the Coal Mines) (s izmenenijami na 31.10.2016) // Jelektronnyj fond normativnoj i pravovoj dokumentacii. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499060050> (data obrashhenija 03.07.2017).
2. Ozernoj M.I., Sobolev V.G. Shahtnye gibkie kabeli (Flexible mining cables). – Moscow: Nedra, 1966. p. 256.
3. Elektrosnabzhenie i jelektrooborudovanie ugolnyh shaht za rubezhom (Electricity supply and electrical equipment of coal mines abroad) // N.I. Voloshhenko, Je.P. Ostrovskij, V.A. Ihno i dr. Moscow: Nedra, 1983. p 270.
4. GOST 12182.6-80. Kabeli, provoda i shnury. Metod proverki stojkosti k razdavlivaniju: vved. 01.01.1982 (Cables, wires and cords. Methods of control of mechanic action strength. General requirements: enacted 01.01.1982) // Jelektronnyj fond normativnoj i pravovoj dokumentacii. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012188/> (accessed date 03.07.2017).

5. GOST 31439-2011 (EN 1710:2005). Oborudovanie i komponenty, prednaznachennye dlja primeneniya v potencialno vzryvoopasnyh sredah podzemnyh vyrabotok shaht i rudnikov: vved. 15.02.2013 (Equipment and components intended for use in potentially explosive atmospheres in underground mines: enacted 15.02.2013) // Jelektronnyj fond normativnoj i pravovoj dokumentacii. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200097516/> (accessed date 03.07.2017).

6. O promyshlennoj bezopasnosti opasnyh proizvodstvennyh ob'ektov (On industrial safety of hazardous production facilities). Federalnyj zakon ot 21.07.1997 № 116-FZ (s izmenenijami na 07.03.2017) // Jelektronnyj fond normativnoj i pravovoj dokumentacii. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9046058> (accessed date 03.07.2017).

7. Shumejko V.I. Naznachenie gibkih jekranirovannyh kabelej i metodika ih ispytanij (Assignment of flexible shielded cables and methods of their testing) // Voprosy gornoj mehaniki. Trudy MakNII. Tom IX. Vypusk 2. Pod obshhej redakciej prof., d-ra tehn. nauk V.D. Belogo. – Moscow: Ugletehizdat, 1959. p. 193–227.