



DOI 10.52350/2072215X_2021_5_15

НОВЫЙ СТАНДАРТ НА МОНТАЖНЫЕ КАБЕЛИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОНАХ

NEW STANDARD FOR INSTALLATION CABLES USED FOR ELECTRICAL INSTALLATIONS IN EXPLOSION HAZARD ZONES

V.V. Bychkov, Head of Industry Standardization Bureau, Ltd. NPP "Spetskabel";

A.S. Zalogin, Cand. Sc. (Engineering), General Director of NANIO "TsSVE";

R.G. Kuznetsov, Head of Development Department, Ltd. NPP "Spetskabel"

A.V. Lobanov, Cand. Sc. (Engineering), General Director of Ltd. NPP "Spetskabel";

В.В. Бычков, начальник бюро отраслевой стандартизации ООО НПП «Спецкабель»;

А.С. Залогин, канд. техн. наук, генеральный директор НАНИО «ЦСВЭ»;

Р.Г. Кузнецов, начальник отдела разработок ООО НПП «Спецкабель»;

А.В. Лобанов, канд. техн. наук, генеральный директор ООО НПП «Спецкабель»

Аннотация. Изложена история развития монтажных кабелей, начиная с использования их для фиксированного межприборного монтажа и заканчивая современными кабелями автоматики, предназначенными для сбора технологических параметров оборудования, распределённого по всей территории промышленного производства, и обратной связью с исполнительными устройствами с целью централизованного управления производством. Разработан ГОСТ Р 59387–2021 «Кабели монтажные для использования в электроустановках во взрывоопасных зонах, в том числе для подземных выработок. Общие технические условия», в котором собраны требования, относящиеся непосредственно к монтажным кабелям, прокладываемым во взрывоопасных зонах.

Приведены конструкции кабелей, применяемых в производственных помещениях с взрывоопасными зонами, в которых возможно в той или иной степени появление в воздухе газообразных взрывоопасных веществ, горючих частиц и пыли. Приведены требования для кабелей, предназначенных для подсоединения к электрооборудованию с различными видами взрывозащиты, в особенности для взрывозащиты вида «искробезопасная электрическая цепь «i»».

Ключевые слова: взрывоопасные зоны, системы взрывозащиты, взрывозащита вида «искробезопасная электрическая цепь «i»», кабели монтажные для электроустановок взрывоопасных зон.

Abstract. The history of development of installation cables is described, starting from their use for fixed inter-instrument installation and ending with modern automation cables designed to collect technological parameters of equipment distributed throughout the industrial production area, and feedback with actuators for the purpose of centralized production management. GOST R 59387-2021 "Installation cables for use in electrical installations in explosion hazardous zones, including for underground mines. General technical specifications" was developed, which contains requirements directly related to installation cables laid in explosive areas.

The paper presents the designs of cables that are used in production areas with hazardous zones where gaseous explosive substances, combustible dust and particles can presumably appear. The requirements are given for cables designed for connection to electrical equipment with various types of explosion protection systems, especially the explosion protection of "spark-proof electric circuit "i" type.

Key words: explosion hazard areas, explosion protection systems, spark-proof electric circuit "i", installation cables for electrical installations in explosion hazard areas.

Материал поступил в редакцию 7.09.2021

E-mail: bychkov@spcable.ru

В июне 2021 года Росстандартом введён в действие ГОСТ Р 59387–2021 «Кабели монтажные для использования в электроустановках во взрывоопасных зонах, в том числе для подземных выработок. Общие технические условия», разработанный в рамках ТК 046 «Кабельные изделия» ООО НПП «Спецкабель».

В 80-е годы прошлого века развитие технических средств привело к необходимости централизации системы управления технологическими процессами и производственным оборудованием, размещённым на значительных территориях. Практически это было реализовано в виде организации пунктов управления (диспетчерских пунктов), к которым стекалась информация из различных точек производственных участков.

Для обеспечения связи с выносными блоками и приборами были разработаны и поступили в серийное производство монтажные кабели. Технические требования на монтажные кабели были сформулированы в ГОСТ 10348–80 [1]. Кабели предназначены для фиксированного монтажа электрических устройств, работающих при номинальном переменном напряжении до 500 В частоты до 400 Гц или постоянном напряжении до 750 В. Кабели могут содержать 2, 3, 5, 7, 10, 14 токопроводящих жил класса 4 с сечениями 0,35 и 0,5 мм² и класса 2 или 3 сечением 0,75 мм² по ГОСТ 22483–2012 [2].

В процессе эксплуатации на производствах предприятий нефтяной, газовой, химической, угольной, горнодобывающей и ряда других отраслей промышленности необходимо учитывать наличие в рабочих помещениях взрывоопасных газообразных веществ, потребовавших принятия мер по обеспечению взрывобезопасности. Впоследствии к газообразным веществам добавились горючая пыль и мелкодисперсные взрывоопасные взвеси.

Было разработано несколько видов взрывозащиты электрооборудования, технические требования к которым изложены в комплексе международных стандартов IEC 60079. На их основе в России разработаны серии отечественных стандартов ГОСТ Р МЭК 60079; ГОСТ IEC 60079; ГОСТ 31610. Однако разработанные виды взрывозащиты и перечисленные группы стандартов не содержат описание видов взрывозащиты электрических кабелей, применяемых для подсоединения электрооборудования и прокладываемых по территории взрывоопасных зон.

К началу 90-х годов в связи с развитием средств автоматики преимущественно в нефтяной и газовой промышленности монтажные кабели по ГОСТ 10348–80 перестали удовлетворять требованиям потребителей. Вследствие данного обстоятельства на заводе «Подольсккабель» было освоено производство новых конструкций монтажных кабелей типа МКЭКШВ, отличающихся тем, что в них было предусмотрено жильное, парное, троечное исполнение, расширен диапазон сечений

и число жил, пар, троек и использована броня в виде обмотки стальными оцинкованными проволоками диаметром 0,25–0,3 мм. Но в то время требования по взрывобезопасности к этим кабелям, как таковым, и применимости этих кабелей для электроустановок во взрывоопасных зонах ещё не поднимались.

Бурное развитие нефтяной и газовой промышленности в последние годы привело к резкому увеличению потребления монтажных кабелей нового типа и как следствие к увеличению числа производителей таких кабелей.

Постепенно наиболее передовые производители начали отражать в нормативной документации на монтажные кабели для электроустановок во взрывоопасных зонах специальные требования. Эти требования, разбросанные случайным образом по указанным выше сериям стандартов, построенных на базе комплекса международных стандартов IEC 60079, были изначально предназначены не для разработки конструкций специальных кабелей, применимых для взрывоопасных зон, а, скорее, для выбора проектировщиками и монтажниками необходимых кабелей из числа существующих. Поэтому инициатива внесения таких требований в технические условия на кабели для электроустановок во взрывоопасных зонах чаще принадлежала производителям кабелей.

В технический регламент Таможенного союза ТР ТС 012/2011 [3] предполагается внесение Изменения № 1 [4], в котором введён ряд технических требований по взрывобезопасности эксплуатации не только электрооборудования, но и кабелей для внешних электрических цепей. Особенно важно отметить, что для использования во взрывоопасных средах согласно [4] должны применяться специально предназначенные кабели для внешних электрических цепей. Кабелями для внешних электрических цепей обычно называют кабели, проходящие оценку и поставляемые независимо от электрооборудования, имеющего взрывозащиту. В то же время кабели для внутренних электрических цепей, встроенные в электрооборудование, проходят оценку на взрывобезопасность в составе электрооборудования. Поэтому возникла потребность в специализированных кабелях для применения в электроустановках во взрывоопасных средах.

В настоящее время известен только один стандарт на кабели, который целевым образом предназначен для эксплуатации во взрывоопасных средах. Это ГОСТ Р 58342–2019 «Кабели силовые и контрольные для применения в электроустановках во взрывоопасных средах. Общие технические условия» [5]. С этой же целью и был разработан ГОСТ Р 59387–2021 «Кабели монтажные для использования в электроустановках во взрывоопасных зонах, в том числе для подземных выработок. Общие технические условия» [6].



ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КАБЕЛЯМ ДЛЯ ВЗРЫВОЗАЩИТЫ ТИПА «ИСКРБЕЗОПАСНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ «i»

В соответствии с ГОСТ Р 58342–2019 [5] и ГОСТ Р 59387–2021 [6] группу кабельной продукции, предназначенную для применения в электроустановках во взрывоопасных средах, при маркировке необходимо выделять буквами «Вз», записываемыми в начале марки, а далее через дефис перечислять традиционно принятые обозначения конструктивных элементов и условий применения.

Согласно ГОСТ 31610.0–2014 [7] взрывоопасная среда – это смесь с воздухом при атмосферных условиях горючих веществ в виде газа, пара, тумана, пыли, волокон или летучих частиц, в которой после воспламенения происходит самоподдерживающееся распространение пламени. В ГОСТ IEC 60079-14–2013 [8] дано следующее определение: взрывоопасной зоной называется зона, в которой присутствует взрывоопасная газовая среда или её присутствие возможно в таких количествах, что для безопасного применения электрооборудования требуется применение специальных мер при конструировании, монтаже и эксплуатации оборудования. В [8] зона – это трёхмерная область или пространство.

Из приведённого определения видно, что понятие «взрывоопасной зоны» неразрывно связано с понятием «взрывоопасной среды». С другой стороны, понятие «взрывоопасной среды» в неявной форме связано с понятием «взрывоопасной зоны», так как источником взрывоопасной среды для большинства производственных помещений (кроме угольных шахт) является физический объект – оборудование, а, значит, концентрация среды, представляющей на самом деле опасность, геометрически (пространственно) локализовано вокруг источника и распространяется в таком состоянии обычно только на несколько метров. А дальше концентрация в воздухе может рассеиваться и не представляет опасности, если пространство не ограничено, например, стенами. Для угольных шахт ситуация выглядит сложнее. Взрывоопасная среда является трёхкомпонентной и представляет собой воздушную смесь метана и угольной пыли. Но при этом среда и зона ещё больше совпадают друг с другом.

Основное различие между понятиями «среды» и «зоны» заключается в следующем: взрывоопасная зона обладает геометрическими размерами, а взрывоопасная среда не может быть локализована в пределах конструктивных рамок, так как подвержена влиянию климатических факторов. В то же время любая конкретная зона ограничена геометрическими размерами как область, в пределах которой с определённой вероятностью возможно появление взрывоопасных газообразных смесей.

Исходя из этого, использование в названиях терминов «среда» и «зона» можно считать равно применимым, но в технических расчётах и при нормировании требований взрывоопасности применяется только понятие «взрывоопасной зоны».

Основная масса кабелей, будь то силовые кабели или кабели связи, является связующим элементом между отдельными устройствами технических систем. В не меньшей степени это относится и к монтажным кабелям. И ещё более усложняется ситуация для монтажных кабелей, предназначенных для эксплуатации в электроустановках во взрывоопасных зонах, в случаях, когда специфика ситуации определяется вопросами взрывобезопасности.

Взрывоопасные пространства классифицируются на зоны. Существуют три зоны, в которых взрывоопасная среда формируется из смеси воздуха с горючими веществами в форме газа, пара или тумана – 0; 1; 2, а также три зоны, в которых взрывоопасная среда формируется в виде облака горючей пыли в воздухе – 20; 21; 22.

Наиболее взрывоопасной является зона класса 0. Это зона, в которой взрывоопасная среда из смеси воздуха с горючими веществами в форме газа, пара или тумана присутствует постоянно, в течение длительного периода или часто [8]. Зона класса 0 является наиболее опасной зоной с точки зрения взрывоопасности, поэтому она требует наиболее уверенной взрывозащиты. В настоящее время таким видом взрывозащиты является взрывозащита вида «искробезопасная электрическая цепь «i»». Долгое время взрывозащита вида «искробезопасная электрическая цепь «i»» была чуть ли не единственным видом взрывозащиты, допустимым для применения во взрывоопасной зоне класса 0. Для эксплуатации в пределах взрывоопасной зоны класса 0 допускается только электрооборудование с уровнем взрывозащиты «Ga».

Согласно ГОСТ IEC 60079-14–2013 уровню взрывозащиты «Ga» соответствуют четыре вида взрывозащиты. Но при этом взрывозащита вида «искробезопасная электрическая цепь «i»» имеет превалирующее применение.

Известна система автоматики «FISCO» по ГОСТ Р МЭК 60079-27–2012 [9]. Но система «FISCO» основана на жёстко ограниченных значениях рабочих напряжения, тока и мощности. Поэтому с точки зрения применимости кабелей для взрывозащиты вида «искробезопасная электрическая цепь «i»» правильнее использовать стандарты ГОСТ 31610.11–2004 [10] и ГОСТ Р МЭК 60079-25–2012 [11], имеющие более широкую применимость.

Взрывозащита вида «искробезопасная электрическая цепь «i»» распространяется на электрооборудование, в котором электрические цепи сконструированы таким образом, что они не способны вызвать взрыв окружающей взрывоопасной среды. Суть решения заключается в том, что в таких системах для электрических

цепей нормируется минимальная толщина изоляции для ряда дискретных значений амплитудного напряжения в цепи, обеспечивающая невозможность искробразования при указанных условиях зависимости толщины изоляции от значения рабочего амплитудного напряжения, представленная в [10].

Есть ещё одно неявное требование, отражающее практику применения искробезопасных цепей: при активной омической и индуктивной нагрузке в большинстве случаев действующее значение напряжения находится в диапазоне от 20 до 40 В. Так как в таких цепях действующее значение напряжения связано с минимальной толщиной изоляции, рассматриваемый стандарт предусматривает ряд конструкций на конкретные значения действующего напряжения с устанавливаемыми в зависимости от них номинальными толщинами изоляции. Значения напряжения и соответствующие им толщины изоляции отличаются от представленных выше. Причина заключается в том, что требование в [10] выражено в косвенных показателях (напряжение амплитудное, толщина минимальная), а в табл. 2 разработанного стандарта в принятых в электротехнике показателях (напряжение действующее номинальное, толщина номинальная). Пример соответствующего расчёта изложен в [12].

Особенностью взрывозащиты вида «искробезопасная электрическая цепь «i» является то, что с целью обеспечения требования искробезопасности подбор всех элементов цепи должен производиться при условии выполнения определённых соотношений между электрическими параметрами [13]. Искробезопасное электрооборудование и соединительный кабель должны быть рассчитаны каждый на напряжение U_i , ток I_i и мощность P_i больше соответствующих параметров U_o , I_o и P_o связанного оборудования, под которым в частном случае понимается источник питания.

$$\begin{aligned} U_i &\geq U_o \\ I_i &\geq I_o \\ P_i &\geq P_o \end{aligned} \quad (1)$$

Но образование искры возможно за счёт накопления электромагнитной энергии на реактивных элементах цепи – электрических ёмкостях и индуктивностях. Так как ёмкость и индуктивность кабеля линейно зависят от длины, то конкретная искробезопасная электрическая цепь может быть реализована на длине кабеля, не превышающей предельно допустимую. Таким образом, расчёт искробезопасной электрической цепи заключается в расчёте максимально допустимых электрической ёмкости « C_c » и индуктивности « L_c » кабеля по формулам:

$$C_c \leq C_0 - \sum_{i=1}^n C_i \quad (2)$$

$$L_c \leq L_0 - \sum_{i=1}^n L_i \quad (3)$$

где C_{cn} и L_{cn} – нормируемые значения электрической ёмкости и индуктивности, соответственно, на единицу длины для кабеля конкретной марки (например, нФ на длину 1 км и мГн на длину 1 км);
 C_c и L_c – известные значения электрической ёмкости и индуктивности (например, полученные в результате измерения для конкретной длины).

Размерность длины получается из размерности длины нормируемых значений C_{cn} и L_{cn} . Из расчёта по формулам (4) и (5) может получиться разная длина $l_c \neq l_L$. Тогда для использования в искробезопасной электрической цепи принимают меньшее значение в качестве длины кабеля.

Целесообразно разъяснить принцип нормирования электрической ёмкости и индуктивности кабелей для систем взрывозащиты вида «искробезопасная электрическая цепь «i», изложенный в [8, 10], иногда вызывает недопонимание. Для этого следует повторить формулировку из [8, 10]: «Для всех используемых в искробезопасной системе кабелей их электрические параметры (C_c и L_c) или (C_c и L_c/R_c) должны определяться в соответствии с перечислениями а), б) или с):

а) наиболее неблагоприятные электрические параметры, указанные изготовителем кабеля;

б) электрические параметры, определяемые путём замеров, выполненных на образце методом определения соответствующих параметров, приведённых в приложении «Г»;

с) 200 пФ/м и 1 мкГн/м или значение отношения индуктивности к сопротивлению (L_c/R_c), полученное делением 1 мкГн на указанное изготовителем сопротивление контура (шлейфа) на метр длины, когда в соединении задействовано 2 или 3 жилы монтажного кабеля обычной конструкции (с экраном или без)».

В а) определены неблагоприятные электрические параметры. Что это такое? Можно считать, что это электрическая ёмкость между изолированной токопроводящей жилой и второй токопроводящей жилой, соединённой с экраном или между двумя соединёнными вместе токопроводящими жилами по отношению к экрану. Эти случаи реализуются в результате электрического пробоя изоляции жил и, действительно, электрическая ёмкость таких комбинаций токопроводящих жил и экрана будет больше электрической ёмкости между одной и другой токопроводящими жилами, нормируемой в кабеле. Но время существования электрического пробоя (короткого замыкания) в кабеле очень коротко и обычно не превышает пяти секунд [14]. Вероятность того, что за это время кабель прогреется до оболочки и на ней возникнет участок с температурой, способной вызвать взрыв



окружающей кабель газообразной взрывоопасной среды, крайне мала. И нормирование таких ёмкостей в технических условиях на кабели конкретных марок кроме возможной путаницы ничего не даст ещё и потому, что в комплексе стандартов IEC 60079 применение таких параметров не регламентировано.

Поэтому можно считать, что в а) рассматривается частный случай, не распространяющийся на серийную продукцию. Можно показать, что и в б) также рассмотрен частный случай.

Остаётся норма, указанная в с). Так как норма на серийную продукцию должна контролироваться в процессе производства, то указанные в перечислении с) значения могут быть приняты для кабелей, применяемых во взрывоопасных зонах. А так как строительные длины, в которых поставляются серийные кабели, соизмеримы с километровой длиной, то их целесообразно выразить в виде нФ на длину 1 км и мГн на длину 1 км, что и сделано в разработанном стандарте. При этом измерение параметров следует проводить так, как это принято в кабельной технике: электрической ёмкости – одной токопроводящей жилы по отношению к другой, индуктивности – шлейфом жил, образующих пару.

Предложение нормировать отношение индуктивности к сопротивлению при разработке стандарта было сочтено нецелесообразным. Следует учитывать, что всё равно нужно проверять величину индуктивности, которая не должна превышать 1 мГн/км. Расчёт отношения не сложен, хотя при этом следует учитывать использование нормируемых величин. Электрическое сопротивление токопроводящих жил измеряют контуром (шлейфом), но нормируют на одну токопроводящую жилу. Индуктивность измеряют шлейфом и нормируют на шлейф (две токопроводящие жилы). Поэтому при расчёте на одно значение индуктивности приходится удвоенное значение электрического сопротивления токопроводящей жилы. Это также учитывается в разработанном стандарте.

Нормируемые значения электрической ёмкости и индуктивности распространены на все типы монтажных кабелей для взрывоопасных зон, а не только разработанных специально для искробезопасных цепей. Причина заключается в том, что в ГОСТ IEC 60079-14–2013 в разделе 16 приведены требования, которым должны отвечать кабели, используемые при построении искробезопасных цепей, но ничего не говорится о том, что именно этим требованиям должны соответствовать и специально сконструированные кабели. В то же время сложившаяся практика построения искробезопасных цепей показывает, что очень часто для этих целей используют любой кабель, отвечающий некоторым техническим требованиям искробезопасной системы [13]. Поэтому до настоящего времени производители кабелей окрашивали оболочку кабелей в синий цвет,

означающий, что кабель предназначен специально для систем взрывозащиты вида «искробезопасная электрическая цепь «i»», не вводя на них никаких специфических требований. При этом электрическая ёмкость и индуктивность нормировались одинаково для всех монтажных кабелей для эксплуатации в электроустановках во взрывоопасных зонах.

В рассматриваемом стандарте сделана попытка предложить разработчикам оптимизировать конструкции кабелей для искробезопасных цепей. С этой целью в новом стандарте в табл. 2 представлены минимально допустимые номинальные толщины изоляции. В сочетании с ограничениями по сечению токопроводящих жил для «HART протокола» можно получить конструкции менее материалоемких кабелей для взрывозащиты типа «искробезопасная электрическая цепь «i»».

Всё изложенное относится и к защите систем в совокупности с применяемыми кабелями ограничением распространения электроэнергии внутри системы. Искробезопасную электрическую цепь необходимо также защищать от проникновения энергии из других внешних электрических источников таким образом, чтобы не выходить за пределы безопасной энергии в цепи даже в случае образования в ней обрывов, короткого замыкания и замыкания на землю [8].

Какие существуют методы защиты от влияния внешних электромагнитных полей? Подбирая траекторию кабельной трассы, можно обеспечить минимальное воздействие электромагнитных полей на кабель. Это возможно в частном случае, когда излучающий объект имеет прямолинейную геометрию, характерную, например, для линий электропередачи (ЛЭП). Если кабель проложен параллельно ЛЭП, то в основном электромагнитное поле влияет на кабель в направлении продольной асимметрии цепей проводник – земля (оболочка). Если необходимо проложить кабель из одной части пространства в другую под ЛЭП, то кабель прокладывают перпендикулярно проводам ЛЭП, что позволяет минимизировать влияние ЛЭП. Однако если кабель прокладывают в цехе, где установлено большое количество единиц оборудования, излучающего электромагнитные поля, то практически нельзя минимизировать электромагнитные влияния, подбирая оптимальную траекторию трассы.

Здесь нужны более общие решения. Таким общепринятым решением является экранирование [15]. Поэтому в разработанном стандарте введено обязательное требование: кабели для искробезопасных цепей должны быть экранированы.

При этом не вводятся ограничения по типу экрана: общий или индивидуальный. Следует исходить из того, что при отсутствии общего экрана, индивидуальный экран будет также выполнять функцию защиты от внешних электромагнитных влияний.

В части требований к кабелям, предназначенным для взрывозащиты вида «искробезопасная электрическая цепь «i» [8], введены ограничения, из которых в рассматриваемый стандарт внесены следующие два:

- диаметр проволок токопроводящих жил кабелей должен быть не менее 0,1 мм;
- толщина изоляции кабелей должна быть не менее 0,2 мм.

Первое условие направлено на сохранение механической прочности токопроводящей жилы при изготовлении кабеля, второе – на обеспечение требуемого значения электрического сопротивления изоляции, так как при меньшей толщине изоляции некоторые материалы резко снижают сопротивление изоляции из-за локальных неоднородностей.

В п. 10.9 ГОСТ 31610.11–2014 [10] приводится испытание кабеля для искробезопасных цепей на растяжение: к кабелю необходимо приложить растягивающее усилие 30 Н в направлении оси кабельного ввода электрооборудования в течение не менее 1 часа. Это испытание должно проводиться после монтажа кабеля. Если при испытаниях будет получен отрицательный результат, то заказчик может объяснить отрицательный результат дефектами кабеля, а не ошибками монтажа. Поэтому в рассматриваемый стандарт введено испытание одной изолированной токопроводящей жилы на растяжение при нагрузке 30 Н при тех же условиях. Если одна жила выдержит нагрузку 30 Н, то и кабель такую нагрузку выдержит. Следовательно, такое испытание подтверждает качество кабеля. А испытание по п. 10.9 ГОСТ 31610.11–2014 [10] будет оценивать непосредственно качество монтажа.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ КАБЕЛЕЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОНАХ

В начале статьи уделяется внимание самым специфическим конструкциям монтажных кабелей, предназначенных для эксплуатации в электроустановках для взрывоопасных зон, а именно кабелям для электроустановок с взрывозащитой типа «искробезопасная электрическая цепь «i».

Однако существует немало электроустановок, обеспечиваемых другими типами взрывозащиты, и к ним также присоединяются электрические кабели. Правда, к таким кабелям не предъявляют особых специфических требований, но существуют общие требования ко всем кабелям, независимо от типа взрывозащиты, применяемой в электроустановках.

Кабели монтажные изготавливаются в трёх исполнениях: одножильном, парном и троечном. Одножильное исполнение используется в кабелях подобных

контрольным и применяется для передачи потенциала в системах автоматики. Кабели парного исполнения используются для присоединения контрольно-измерительных и исполнительных устройств, а также для передачи электропитания в однофазных цепях. Кабели троечного исполнения применяются преимущественно для одновременной передачи информационных сигналов и электропитания.

Исторически первыми кабелями, применяемыми в системах автоматики, были контрольные кабели однопроволочные (кроме сечения 10 мм²) с медными токопроводящими жилами сечениями от 1,0 до 2,5 мм² и с алюминиевыми токопроводящими жилами сечениями от 2,5 до 10 мм² [16]. При формировании комплекса стандартов для взрывоопасных сред использование кабелей с алюминиевыми токопроводящими жилами было запрещено. Было принято решение использовать многопроволочные токопроводящие жилы для кабелей, применяемых в системах автоматики. В рассматриваемом стандарте предусмотрены токопроводящие жилы не ниже класса 2, в том числе и особо гибкие по ГОСТ 22483–2012.

Распространение требований на особо гибкое исполнение не случайно. Для систем взрывозащиты вида «повышенная защита «e» по ГОСТ 31610.7–2017 [17] и «взрывозащита вида «n» с уровнем защиты «nA» по ГОСТ Р МЭК 60079-15–2010 [18] требуется применение в кабеле особо гибких токопроводящих жил не ниже класса 5.

Монтажные кабели для электроустановок во взрывоопасных зонах ранее рассчитывали на рабочее напряжение 660 В при толщине изоляции 0,7 мм. Анализ применения кабелей показал, что в ряде случаев требуется напряжение в кабельной сети 500 В и даже 300 В. Естественно, что толщина изоляции для кабелей на такое напряжение должна быть меньше, и кабели будут более экономичны.

Для разработки таких конструкций был использован международный опыт, изложенный в европейском стандарте EN 50288-7:2006 [19], в котором указана минимальная толщина изоляции для разных сечений токопроводящих жил при нормируемых напряжениях 300 В и 500 В, и приведена формула для пересчёта. В рассматриваемом стандарте представлена таблица номинальных значений толщины изоляции для разных сечений токопроводящих жил кабелей на действующие напряжения 300 В, 500 В и 660 В.

Особенно следует отметить обеспечение требований пожарной безопасности монтажными кабелями для электроустановок во взрывоопасных зонах. В 2018 году Ассоциация «Росэлектромонтаж» разработала свод правил СП 423.1325800.2018 [20], в котором изложены требования по применению всех известных в настоящее время типов исполнений кабелей в соот-



ветствии с требованиями пожарной безопасности по ГОСТ 31565–2012 [21].

В разработанном стандарте предусмотрено изготовление всех исполнений кабелей – нг(A); нг(A)-LS; нг(A)-HF; нг(A)-FRLS; нг(A)-FRHF, а в п. 5.2.1.4 и п. 5.2.1.12 изложены требования к типам применяемых материалов для изоляции и оболочки, соответственно. В [20] вводится новое требование, отсутствующее в других документах: кабели, предназначенные для прокладки в системах противоаварийной автоматической защиты должны быть огнестойкими, а это почти половина всех кабелей, прокладываемых во взрывоопасных зонах.

Выше рассматривался вопрос об экранировании кабелей, предназначенных для взрывозащиты типа «искробезопасная электрическая цепь «i»». Для кабелей, предназначенных для остальных типов взрывозащиты, может также возникнуть необходимость применения общего экрана для защиты от внешних электромагнитных влияний и индивидуальных экранов для защиты от внутренних электромагнитных влияний. Индивидуальные экраны накладываются только на пару и тройку как элементы, индивидуализирующие электрическую цепь. Предусмотрены следующие типы экранов как индивидуальных, так и общих, на выбор разработчика и изготовителя кабелей: в виде обмотки металлополимерной лентой с контактным проводником, в виде обмотки или оплётки медной отождённой или медной лужёной проволокой, комбинированный из продольно наложенной металлополимерной ленты металлом наружу и оплётки из медной отождённой или медной лужёной проволоки.

В ГОСТ IEC 60079-14–2013 в нескольких пунктах указано, что должны быть приняты меры по предотвращению распространения по сердечнику кабеля из взрывоопасной зоны в невзрывоопасную зону жидких или газообразных взрывоопасных веществ, а также пламени непосредственно после взрыва. Для обеспечения герметичности сердечника кабеля используется полимерный наполнитель. Данное требование не исключает возможности ограниченного прохождения газов по обмоткам и оплёткам поясной изоляции и экрана. Но метод проверки, изложенный в Приложении Е ГОСТ IEC 60079-14–2013 предполагает частичное прохождение газов через кабель с заполненным сердечником. Можно назвать это требованием частичной продольной герметичностью. Поэтому кабель считается выдержавшим испытание, если примерно за 5 с падение давления в сосуде, из которого истекает газ при испытании со значения не менее 0,3 кПа (30 мм вод. ст.), не превзойдёт 0,15 кПа (15 мм вод. ст.), допустимое методом испытания, изложенным в Приложении Е к ГОСТ IEC 60079-14–2013.

Следует отметить, что согласно проекту Изменения № 1 к ТР ТС 012/2011 предусмотрено для кабелей, подключаемых к электрооборудованию с взрывоза-

щитой вида «d» (взрывонепроницаемая оболочка по ГОСТ IEC 60079-1–2013 [22]), использование конструкций с заполнением воздушных полостей сердечника. При монтаже таких кабелей и вводе во взрывонепроницаемую оболочку электрооборудования необходимо соблюдать требования п.10.6 ГОСТ IEC 60079-1–2013 [22]. Очевидно, что для внедрения подобных кабелей необходимо время. Поэтому в п. 5.2.1.8 разработанного стандарта допускается не обеспечивать требование частичной продольной герметичности при обязательном указании в ТУ, что изготовленные кабели выполнение требования по частичной продольной герметичности не обеспечивают или в этом случае должны использовать специально разработанные кабели.

Может возникнуть сомнение в правомочности такого допущения в части возможной дискредитации основной идеи – обеспечения частичной продольной герметичности. Действительно, конструкция кабеля, не обеспечивающая частичной продольной герметичности, будет сертифицироваться наравне с конструкцией, обеспечивающей частичную продольную герметичность. Но сертификат, выдаваемый на группу марок кабелей в обязательном порядке ссылается и на ТУ на эти кабели, а в этих ТУ существует обязательная фраза о необеспечении частичной продольной герметичности, что и будет отличать между собой эти сертификаты. В то же время, в комплексе стандартов IEC 60079 отсутствует обязательное требование подсоединения кабелей с заполненным сердечником к какому-нибудь конкретному типу взрывозащиты электрооборудования. Имеется только рекомендация.

В ряду конструкций кабелей монтажных для электроустановок во взрывоопасных зонах особое место занимают бронированные кабели. Первые конструкции кабелей были со свинцовыми или алюминиевыми оболочками. Кроме того, существовали конструкции с круглой или плоской проволочной бронёй или с ленточной бронёй. Но требования потребителей по расчёту конструкции брони под воздействием растягивающих или раздавливающих усилий отсутствовали. Поэтому в настоящее время широко применяется только броня в виде оплётки круглыми стальными оцинкованными проволоками диаметром 0,25–0,3 мм.

Тем не менее, в разработанном стандарте предусмотрено применение нескольких видов брони: в виде оплётки и обмотки круглыми стальными оцинкованными и сталемедными биметаллическими проволоками, обмотки стальными оцинкованными лентами, продольно накладываемыми гофрированными металлополимерными лентами. Допускается изготавливать круглую проволочную броню из других металлов.

Подбор материалов изоляции и оболочки помимо обеспечения требований пожарной безопасности, обусловлен необходимостью выполнения требований

по стойкости к пониженным температурам окружающей среды и теплостойкости при соединении с электрооборудованием соответствующего класса теплостойкости. С целью подтверждения выполнения требований п.9.3.2 ГОСТ IEC 60079-14–2013 предлагаемые к использованию для оболочек кабелей материалы в новом стандарте относятся к группам термопластичных материалов или эластомеров.

До разработки рассматриваемого стандарта кабели подразделялись на две категории: стандартной холодостойкости (на температуру до минус 50 °С) и холодостойкие (на температуру до минус 60 °С по ГОСТ 15150–69 [23]). Холодостойкие кабели, как правило, изготавливались с применением холодостойкого поливинилхлоридного пластиката или полиуретановой композиции, в том числе не содержащей галогенов.

В разработанном стандарте расширен перечень материалов, применяемых для оболочек кабелей, предназначенных для макроклиматических регионов с холодным климатом. Он дополнен следующими материалами: холодостойкой полимерной композицией, не содержащей галогенов, в том числе маслостойкой, кремнийорганической резиной и сшитой полимерной композицией, не содержащей галогенов.

В связи с недавним изменением ГОСТ 15150–69 [23] в числе нормируемых появились ещё два макроклиматических региона: с антарктическим холодным климатом с температурой окружающей среды до минус 88 °С и с экстремальным холодным климатом с температурой окружающей среды до минус 70 °С. Для применения в этих макроклиматических регионах предложены кабели с полиуретановой оболочкой, в том числе маслостойкой и не содержащей галогенов, или фторопласта и его сополимеров.

До разработки настоящего стандарта существовал только один теплостойкий кабель марки КВВ на температуру 105 °С. Причём причина существования кабеля именно на такую температуру была не вполне ясна. Необходимость разработки кабелей на температуры более высокие, чем 105 °С назрела уже давно: в трубах, по которым транспортируется технологическое сырьё, температура достигает 200 °С и выше.

Поэтому необходимо было привязать повышенную температуру кабеля к температурному классу электрооборудования для взрывоопасных зон, тем более, что электрооборудование должно испытываться на температуру на 20 °С выше, чем это соответствует температурному классу [7]. А значит и кабель должен нормироваться на температуру, соответствующую температурному классу плюс 20 °С. Таким образом появилось шесть градаций теплостойких кабелей для повышенной рабочей температуры.

Согласно изменению, в IEC 60079-14 от 11.2013 [24], разрывная прочность полимерных оболочек кабе-

лей должна быть не менее 8,5 Н/мм². В [8] сохраняется пока ошибочная норма для оболочек из поливинилхлоридного пластиката не менее 2,5 Н/мм², но при первом пересмотре стандарта эта опечатка должна быть устранена. До этого времени можно пользоваться ссылками на изменение в IEC 60079-14 от 11.2013 [24]. Большинство полимерных материалов, применяемых для кабельных оболочек, обеспечивает выполнение требования по разрывной прочности – не менее 8,5 Н/мм².

Так как ранее существовала норма на разрывную прочность оболочки не менее 15 Н/мм², в рассматриваемый стандарт были введены кабели с армированной оболочкой из поливинилхлоридного пластиката, в том числе холодостойкого, теплостойкого, маслостойкого, пониженной горючести, пониженной пожарной опасности или полимерной композиции, не содержащей галогенов, в том числе маслостойкой и холодостойкой. Армирование оболочки должно быть осуществлено введением в загрузочный бункер экструдера коротких длин стекловолокна. Возможно введение упрочняющих нитей или встраивание в оболочку дискретных длинномерных стекловолокон или упрочняющих нитей.

Наиболее необычным требованием для кабелей является требование предотвращения накапливания на оболочке кабелей электростатических зарядов в п. 6.5.3 ГОСТ IEC 60079-14–2013. Требования выглядят следующим образом.

«Кабельная трасса должна быть устроена таким образом, чтобы кабели не подвергались воздействию трения и из-за попадания пыли не накапливались статические заряды. Должны быть приняты меры по предотвращению накапливания статических зарядов на поверхности кабелей». И никакого конкретного решения для предотвращения накапливания зарядов на поверхности кабелей не предлагается.

С другой стороны, в случае электрооборудования этот вопрос давно решён [7, 25], где регламентированы требования по удельному поверхностному электрическому сопротивлению полимерного материала оболочки при повышенной влажности окружающей среды – от 10⁶ до 10⁹ Ом. И есть требование к электрическому сопротивлению проводника, по которому осуществляется сток электрических зарядов на землю: не более 100 Ом. Но в обоих документах установлено, что на кабели эти требования не распространяются.

В последнем новом стандарте ГОСТ 31610.32-1–2015 [26], посвящённом рассмотрению образования электростатических зарядов, требование к поверхностному электрическому сопротивлению полимерной оболочки выражено в виде диапазона от 10⁴ до 10¹¹ Ом при относительной влажности (25±5) % и температуре (23±2) °С, а электрическое сопротивление проводника заземления (мы назвали его заземлителем) должно быть не более 10 Ом. В утверждённом



стандарте предусмотрено наложение поверх оболочки устройства электростатической защиты, состоящего из двух конструктивных элементов в порядке следования от центра кабеля: заземлителя и рассеивателя. Заземлитель должен быть выполнен из нескольких медных проволок номинальным диаметром от 0,1 до 0,4 мм, наложенных в виде редкой оплётки с площадью просветов между проволоками не более 400 мм² или обмотки с расстоянием между смежными проволоками не более 20 мм. Допускается применение устройства электростатической защиты другого типа. Например, с заземлителем в виде ленты, наложенной на предыдущий слой с перекрытием. Заземлитель должен иметь электрическое сопротивление не более 10 Ом на максимальной длине кабеля, соответствующей выбранному значению сопротивления изоляции. Рассеиватель должен быть выполнен в виде экструдированного полимерного слоя с соответствующей расцветкой. Рассеиватель всех марок кабелей должен иметь поверхностное электрическое сопротивление в диапазоне от 10⁴ до 10¹¹ Ом при относительной влажности (25±5) %.

По существу можно считать, что требования по защите кабелей от накопления электростатических зарядов не сформулированы. Дело в том, что экран, как правило применяемый в качестве проводника заземления, при существующих требованиях делает кабель достаточно громоздким. Но можно пойти по другому пути: через каждые несколько метров вскрывать наружный полимерный покров и выводить заземляющий проводник. Помимо выведения заземляющих проводников потребуются ещё и контуры заземления вдоль всей трассы. Это технически выполнимо, но достаточно сложно.

В конструкции кабеля последние два элемента в порядке следования от центра будут выполнять роль заземлителя и рассеивателя. Под влиянием физических воздействий (трение; порыв ветра, переносащий электрически заряженные частицы; импульс электромагнитного поля) на полимерной оболочке кабеля, выполняющей роль рассеивателя, возникает электростатический заряд, который незначительно растекается по поверхности рассеивателя и вызывает образование на заземлителе заряда другого знака. Таким образом, можно сказать, что формируются две пластины конденсатора, между которыми существует электрическое поле. Если заряд на рассеивателе образован электронами, то электроны начнут стекать в радиальном направлении непосредственно через рассеиватель на заземлитель и нейтрализовать образовавшийся на нём положительный заряд. Частично нейтрализация будет происходить за счёт появления электронов со стороны земли. Таким образом, возникший электростатический заряд нейтрализуется. Если вместо рассеивателя с поверхностным сопротивлением менее 10¹¹ Ом используется диэлектрик

(полимер) с поверхностным электрическим сопротивлением более 10¹² Ом и удельным объёмным электрическим сопротивлением более 10¹² Ом·см, то образовавшийся электростатический заряд может сохраниться на поверхности диэлектрика длительное время. В полимерах преимущественно заряд образуется в виде электронов [27].

Конструкция кабелей должна предполагать возможность монтажа кабельной линии с защитой от накопления электрических зарядов. Так как для разработки кабелей с защитой от возникновения электростатических зарядов требуется некоторое время, в рассматриваемом стандарте предусмотрен выпуск кабелей без устройств электростатической защиты.

При этом в технической документации на кабели конкретных марок должно быть указано, что конструкция кабеля не имеет устройства электростатической защиты, а в разделе «Указания по эксплуатации» для эксплуатирующих организаций должно быть указано на необходимость применения мер контроля и удаления электростатических зарядов с поверхности кабеля. Меры, применяемые для контроля и удаления электростатических зарядов с поверхности кабеля, перечислены в Приложении А к разработанному стандарту.

Современное электрооборудование для взрывоопасных зон всё чаще имеет общую оболочку, а введение кабеля под оболочку производится с помощью кабельного ввода, являющегося Ex-компонентом или частью Ex-оборудования, если ввод закреплён на оболочке неразъёмно, то кабель испытывают вместе с кабельным вводом и Ex-оборудованием.

Кабели имеют наружный диаметр, как правило, не совпадающий в точности с внутренним отверстием ввода. Для того чтобы обеспечить герметичность ввода, на кабель надевают уплотнительные кольца. Но и это решение может не обеспечить герметичность ввода, если кабель имеет не круглую форму поверхности. Поэтому в утверждённом стандарте введено требование круглой формы кабеля, которая проверяется на соответствие допустимым отклонениям измеренных максимального и минимального значений диаметра от номинального, а также по овальности кабеля.

В п. 9.3.2 ГОСТ IEC 60079-14–2013 предусмотрено в принципе использование заполнителей, за исключением гигроскопичных, которые могут накапливать и распространять газообразные и жидкие взрывоопасные вещества. В стандарте также не допускается применять гигроскопичные заполнители из волокнистых материалов и суперабсорбирующих полимеров в виде водоблокирующих лент, нитей, порошков.

В соответствии с требованиями разработанного стандарта каждый барабан с кабелем и каждая бухта должны снабжаться протоколом испытаний или сертификатом качества, содержащими результаты испытаний

в соответствии с правилами приёмки (далее – документация) со штампом отдела технического контроля с объёмом выборки 100 %, кроме проверки конструкции и конструктивных размеров, а также определения вторичных параметров – волнового сопротивления и коэффициента затухания кабелей (предназначенных для отдельных систем автоматики).

В последние годы при разборке и выявлении причин взрывов во взрывоопасных зонах всё большее внимание уделяется электрическим кабелям, как причине возможной инициации взрывов газообразных взрывоопасных веществ на опасных производственных объектах. В Изменении № 1 к ТР ТС 012/2011 электрические кабели стали фигурировать наряду с электрооборудованием как инициаторы взрыва газообразной взрывоопасной среды, хотя это далеко не так.

Поэтому основной гарантией защиты производителя электрических кабелей является контроль параметров каждой строительной длины, направляемой заказчику, фиксация измеренных значений в документации и передача этой документации вместе с строительной длиной заказчику, а также формирование архива документации по каждой строительной длине. Вторичные параметры обеспечивают качество связи в системах автоматики, но не создают прецедента инициации взрыва. Однако снижению потерь в кабелях для систем автоматики должно уделяться особое внимание.

Для изоляции кабелей первых поколений использовался поливинилхлоридный пластикат, в состав которого входит пластификатор. Однако нужно учитывать, что именно пластификатор в процессе старения снижает сопротивление изоляции кабеля.

На момент разработки кабеля величина сопротивления изоляции 10 МОм/км была взята по аналогии с нормативной документацией на силовые кабели. Но силовые кабели передают энергию большой мощности,

и потеря мощности за счёт утечки через сопротивление изоляции незначительна. Иное дело – монтажные кабели, которые зачастую используются для передачи маломощных сигналов автоматики, и для них такие потери значительны.

Поэтому в кабелях монтажных желательнее иметь сопротивление изоляции не менее 100 МОм/км. С этой целью в разработанном стандарте предусмотрены условия прокладки кабелей в зависимости от величины нормируемого сопротивления изоляции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главной задачей современного этапа развития промышленного производства, связанного с необходимостью установления взрывоопасности, наряду с требованием к электрооборудованию [28], является распространение требований взрывоопасности на электрические кабели [29]. Для этого необходимо сформулировать более подробные требования взрывоопасности, как наличие физических свойств электрических кабелей разных типов в проявлении возможной инициации поджигания взрывоопасных газообразных сред и определения технических требований к кабелям, препятствующих этим процессам. Разработанный стандарт ГОСТ Р 59387–2021 на кабели монтажные для электроустановок во взрывоопасных зонах устанавливает необходимый перечень требований к кабелям данного назначения.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

Авторы благодарят профессора И.Б. Пешкова за редакционную правку статьи и оказание помощи в её публикации. ■

Список литературы

1. ГОСТ 10348–80. Кабели монтажные многожильные с пластмассовой изоляцией. Технические условия. – М.: Комитет по стандартизации и метрологии СССР, 1980. – 14 с.
2. ГОСТ 22483–2012. Жилы токопроводящие для кабелей, проводов и шнуров. – М.: Стандартинформ, 2012. – 28 с.
3. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 012/2011. О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах.
URL: docs.cntd.ru/document/902307910 (дата обращения: 03.09.2021).
4. Изменения № 1 в технический регламент Таможенного союза ТР ТС 012/2011. О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах.
URL: normacs.info/projects/6830 (дата обращения: 01.09.2021).

List of references

1. GOST 10348–80. Plastic-insulated multicore installation cables. Specifications. – M.: The USSR Committee for Standardization and Metrology, 1980. – 14 p.
2. GOST 22483–2012. Current-carrying conductors for cables, wires and cords. – M.: Standardinform, 2012. – 28 p.
3. Technical Regulations of Customs Union TP TC 012/2011. On safety of equipment intended for use in explosive atmospheres.
URL: docs.cntd.ru/document/902307910 (access date: 03.09.2021).
4. Amendments № 1 to Technical Regulations of Customs Union TP TC 012/2011. On safety of equipment intended for use in explosive atmospheres.
URL: normacs.info/projects/6830 (access date: 01.09.2021).



5. ГОСТ Р 58342–2019. Кабели силовые и контрольные для применения в электроустановках во взрывоопасных средах. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2019. – 26 с.

6. ГОСТ Р 59387–2021. Кабели монтажные для использования в электроустановках во взрывоопасных зонах, в том числе для подземных выработок. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2021. – 46 с.

7. ГОСТ 31610.0–2014. Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2014. – 105 с.

8. ГОСТ IEC 60079-14–2013. Взрывоопасные среды. Часть 14. Проектирование, выбор и монтаж электроустановок. – М.: Стандартинформ, 2014. – 115 с.

9. ГОСТ Р МЭК 60079-27–2012. Взрывоопасные среды. Часть 27. Концепция искробезопасной системы полевой шины (FISCO). – М.: Стандартинформ, 2013. – 14 с.

10. ГОСТ 31610.11–2014/ IEC 60079-11:2012. Электрооборудование для взрывоопасных газовых сред. Часть 11. Искробезопасная электрическая цепь «i». – М.: Стандартинформ, 2014. – 96 с.

11. ГОСТ Р МЭК 60079-25–2012. Взрывоопасные среды. Часть 25. Искробезопасные системы. – М.: Стандартинформ, 2012 – 106 с.

12. **Бычков В.В., Кузнецов Р.Г., Лобанов А.В.** О нормировании требований на монтажные кабели в комплексе стандартов на взрывобезопасность // Кабели и провода. – 2018. – № 4. – С. 8–12.

13. **Жданкин В.К.** Оценка искробезопасности электрических цепей // СТА. – 2000. – № 3. – С. 72–79.

14. ГОСТ 31996–2012. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2013. – 38 с.

15. **Гроднев И.И., Верник С.М.** Линии связи. – М.: Радио и связь, 1988. – 544 с.

16. **Трунковский Л.Е., Кузнецов Ю.П.** Кабели автоматики. Справочник по монтажу и эксплуатации контрольных и специальных кабелей. – М.: Военное издательство Министерства обороны СССР, 1962. – 368 с.

17. ГОСТ 31610.7–2017. Взрывоопасные среды. Часть 7. Оборудование. Повышенная защита вида «е». – М.: Стандартинформ, 2018. – 78 с.

18. ГОСТ Р МЭК 60079-15 – 2010. Взрывоопасные среды. Часть 15. Оборудование с видом взрывозащиты «n». – М.: Стандартинформ, 2011. – 66 с.

19. EN 50288-7:2006. Multi-element metallic cables used in analogue and digital communication and control. Part 7: Sectional specification for instrumentation and control cables.

URL: nd.gostinfo.ru/document/3918820.aspx (дата обращения: 28.08.2021).

20. Свод правил СП 423. 1325800.2018. Электроустановки низковольтных зданий и сооружений. Правила проектирования во взрывоопасных зонах.

URL: docs.cntd.ru/document/554403271 (дата обращения: 03.09.2021).

21. ГОСТ 31565–2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности. – М.: Стандартинформ, 2012. – 12 с.

22. ГОСТ IEC 60079-1–2013. Взрывоопасные среды. Часть 1. Оборудование с видом взрывозащиты «взрыво-

5. GOST R 58342–2019. Power and control cables for use in electrical installations in explosive atmospheres. General specifications. – М.: Standardinform, 2019. – 26 p.

6. GOST R 59387–2021. Installation cables for use in electrical installations in hazardous areas, including underground mines. General specifications. – М.: Standardinform, 2021. – 46 p.

7. GOST 31610.0–2014. Explosive atmospheres. Part 0. Equipment. General specifications. – М.: Standardinform, 2014. – 105 p.

8. GOST IEC 60079-14–2013. Explosive atmospheres. Part 14: Electrical installations design, selection and erection. – М.: Standardinform, 2014. – 115 p.

9. GOST R IEC 60079-27–2012. Explosive atmospheres. Part 27. Fieldbus intrinsically safe concept (FISCO). – М.: Standardinform, 2013. – 14 p.

10. GOST 31610.11–2014/ IEC 60079-11: 2012. Explosive atmospheres. Part 11: Equipment protection by intrinsic safety “i”. – М.: Standardinform, 2014 – 96 p.

11. GOST R IEC 60079-25–2012. Explosive atmospheres. Part 25. Intrinsically safe systems. – М.: Standardinform, 2012 – 106 p.

12. **Bychkov V.V., Kuznetsov R.G., Lobanov A.V.** On standardization of requirements for installation cables in the set of standards for explosion safety // Cables and Wires. – 2018. – № 4. – P. 8–12.

13. **Zhdankin V.K.** Estimation of intrinsic safety of electrical circuits // STA. – 2000. – № 3. – P. 72–79.

14. GOST 31996–2012. Power cables with plastic insulation for rated voltages of 0,66; 1 and 3 kV. General specifications. – М.: Standardinform, 2013. – 38 p.

15. **Grodnev I.I., Vernik S.M.** Communication lines. – М.: Radio and Communications, 1988. – 544 p.

16. **Trunkovsky L.E., Kuznetsov Yu.P.** Automation cables. Handbook on installation and operation of control and special cables. – М.: Military Publishing House of the Ministry of Defense of the USSR, 1962. – 368 p.

17. GOST 31610.7–2017. Explosive atmospheres. Part 7. Equipment protection by increased safety “e”. – М.: Standardinform, 2018. – 78 p.

18. GOST R IEC 60079-15–2010. Explosive atmospheres. Part 15. Equipment protection by type of protection “n”. – М.: Standardinform, 2011. – 66 p.

19. EN 50288-7:2006. Multi-element metallic cables used in analogue and digital communication and control. Part 7: Sectional specification for instrumentation and control cables.

URL: nd.gostinfo.ru/document/3918820.aspx (access date: 28.08.2021).

20. Code of Rules SP 423. 1325800.2018. Low-voltage electrical installations of buildings and structures. Design rules for explosive zones.

URL: docs.cntd.ru/document/554403271 (access date: 03.09.2021).

21. GOST 31565–2012. Cable products. Fire safety requirements. – М.: Standardinform, 2012. – 12 p.

22. GOST IEC 60079-1–2013. Explosive atmospheres. Part 1. Equipment protection by



непроницаемые оболочки «d». – М.: Стандартинформ, 2021. – 79 с.

23. ГОСТ 15150–69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – М.: Стандартинформ, 2010. – 72 с.

24. Corrigendum 1, IEC 60079-14: 2013/ COR 1:2016. URL: <https://nd.gostinfo.ru/document/6133116.aspx> (дата обращения: 28.08.2021).

25. ГОСТ 31613–2012. Электростатическая безопасность. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2013. – 12 с.

26. ГОСТ 31610.32-1–2015/IEC/TS 60079-32-1: 2013. Взрывоопасные среды. Часть 32-1. Электростатика. Опасные проявления. Руководство. – М.: Стандартинформ, 2016. – 179 с.

27. Кечиев Л.Н., Пожидаев Е.Д. Защита электронных средств от воздействия статического электричества. – М.: Издательский дом «Технология», 2005 – 352 с.

28. Залогин А.С., Поршина А.П., Лобанов А.В., Бычков В.В. Риск во взрывоопасных зонах промышленного производства // Безопасность труда в промышленности. – 2019. – № 4. – С. 82–88.

29. Бычков В.В., Залогин А.С., Лобанов А.В., Поршина А.П. Физические основы инициации взрыва газообразной или пылевой взрывоопасной среды электрическими кабелями // Кабели и провода. – 2020. – № 5. – С. 13–21.

flameproof enclosures “d”. – М.: Standardinform, 2021. – 79 p.

23. GOST 15150–69. Machines, instruments and other industrial products. Modifications for different climatic regions. Categories, operating, storage and transportation conditions as to environment climatic aspects influence. – М.: Standardinform, 2010. – 72 p.

24. Corrigendum 1, IEC 60079-14: 2013/ COR 1:2016. URL: <https://nd.gostinfo.ru/document/6133116.aspx> (access date: 28.08.2021).

25. GOST 31613–2012. Static electricity spark safety. General technical requirements and test methods. – М.: Standardinform, 2013. – 12 p.

26. GOST 31610.32-1–2015/IEC/TS 60079-32-1: 2013. Explosive atmospheres. Part 32-1. Electrostatics. Hazards. Guidance. – М.: Standardinform, 2016. – 179 p.

27. Kechiev L.N., Pozhidaev E.D. Protection of electronic devices from exposure to static electricity. – М.: Publishing house “Technology”, 2005 – 352 p.

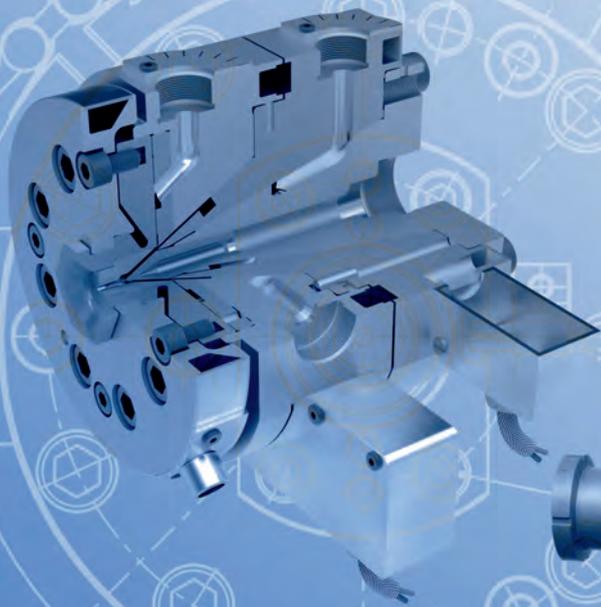
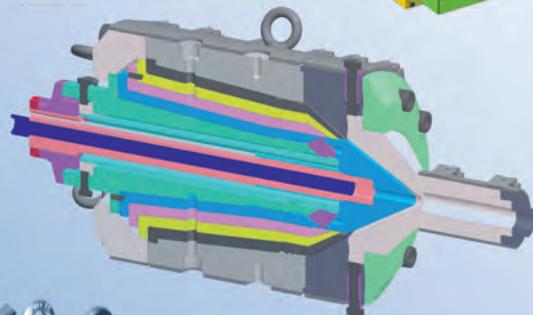
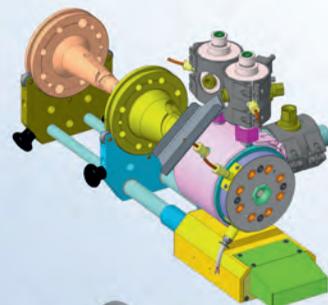
28. Zalogin A.S., Porshina A.P., Lobanov A.V., Bychkov V.V. Risk in the industrial production hazardous zones. // Workplace safety in the manufacturing industry. – 2019. – № 4. – P. 82–88.

29. Bychkov V.V., Zalogin A.S., Lobanov A.V., Porshina A.P. Physical bases for the initiation of explosion of gaseous or dusty explosive environment by electric cables // Cables and Wires. – 2020. – № 5. – P. 13–21.

EROCARB SA

EROCARB SA

La Pomelaz 6
CH-1429 Giez
Switzerland
Info@erocarb.ch
www.erocarb.ch



ГАРАНТИРОВАННАЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Сергей Горохов
+41 24 447 44 36
+41 79 295 85 74