



УДК 620.92
doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-1-15



Open
Access

RESEARCH
ARTICLE

Анализ технических требований, предъявляемых к аккумуляторным батареям во взрывобезопасном оборудовании

Дмитрий Игоревич Каржин

АО «Научно-производственное предприятие "Рубин"», Россия, г. Пенза, ул. Байдукова, 2

Дмитрий Александрович Голушко

АО «Научно-производственное предприятие "Рубин"», Россия, г. Пенза, ул. Байдукова, 2

Ильдар Ринатович Абузаров

АО «Научно-производственное предприятие "Рубин"», Россия, г. Пенза, ул. Байдукова, 2

Елена Сергеевна Морозова

АО «Научно-производственное предприятие "Рубин"», Россия, г. Пенза, ул. Байдукова, 2

Алексей Владимирович Лысенко

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
lisenko_av@bk.ru

Аннотация. Рассмотрены основные требования к аккумуляторным батареям, применяемым во взрывозащищенном оборудовании. Проанализированы требования, предъявляемые к аккумуляторам и аккумуляторным отсекам внутри искробезопасного оборудования. Рассмотрены особенности размещения аккумулятора внутри взрывонепроницаемой оболочки. Приведены особенности зарядки и коммутации аккумуляторов. Проанализированы требования, предъявляемые к изоляции. Сделан вывод об особенностях эксплуатации аккумуляторов во взрывобезопасном оборудовании.

Ключевые слова: аккумулятор, аккумуляторный отсек, ограничитель тока, взрывоопасная зона, портативное устройство

Для цитирования: Каржин Д. И., Голушко Д. А., Абузаров И. Р., Морозова Е. С., Лысенко А. В. Анализ технических требований, предъявляемых к аккумуляторным батареям во взрывобезопасном оборудовании // Инжиниринг и технологии. 2024. Т. 9 (1). С. 1–8. doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-1-15

Analysis of the technical requirements for batteries in explosion-proof equipment

Dmitry I. Karzhin

Scientific and production enterprise "Rubin", 2 Baiducova Street, Penza, Russia

Dmitry A. Golushko

Scientific and production enterprise "Rubin", 2 Baiducova Street, Penza, Russia

Ildar R. Abuzarov

Scientific and production enterprise "Rubin", 2 Baiducova Street, Penza, Russia

Elena S. Morozova

Scientific and production enterprise "Rubin", 2 Baiducova Street, Penza, Russia

Alexey V. Lysenko

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
lisenko_av@bk.ru



Abstract. The basic requirements for rechargeable batteries used in explosion-proof equipment are considered. The requirements for batteries and battery compartments inside intrinsically safe equipment are analyzed. The features of placing the battery inside an explosion-proof shell are considered. The features of battery charging and switching are given. The requirements for insulation are analyzed. The conclusion is made about the features of battery operation in explosion-proof equipment.

Keywords: battery, battery compartment, current limiter, explosive zone, portable device

For citation: Karzhin D.I., Golushko D.A., Abuzyarov I.R., Morozova E.S., Lysenko A.V. Analysis of the technical requirements for batteries in explosion-proof equipment. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2024;9(1):1–8. (In Russ.). doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-1-15

Введение

В нефтегазовой отрасли необходимо использовать взрывобезопасное оборудование. Питание устройств, как правило, осуществляется посредством проводного подключения к источнику электропитания (ИЭ) или с помощью аккумуляторной батареи. Из-за того, что подключение к ИЭ через провод в некоторых условиях может быть невозможно или затруднено, существует потребность в переносных портативных устройствах, работающих внутри взрывоопасной зоны. Источником питания для таких устройств, как правило, служит аккумуляторная батарея [1–3]. Во взрывобезопасном оборудовании допускается применение различных видов аккумуляторов, которые должны эксплуатироваться таким образом, чтобы не стать причиной нарушения взрывозащиты устройства. К портативным взрывобезопасным устройствам с аккумуляторной батареей в качестве источника питания предъявляются требования, которые рассмотрены в данной статье.

Основные требования к аккумуляторам

Все элементы аккумулятора должны быть сконструированы или размещены таким образом, чтобы избежать утечки электролита, которая может оказать негативное воздействие на взрывозащиту устройства или на компоненты, от которых зависит безопасность. Оболочка аккумулятора не должна механически повреждаться в предусмотренных условиях эксплуатации. Все элементы аккумулятора должны быть созданы одним изготовителем, иметь одинаковые электрохимическую систему, конструкцию, а также равные значения номинальных емкостей [4, 5].

Размещение и эксплуатацию аккумуляторов следует производить таким образом, чтобы не выходить за предельные допустимые значения, которые указываются изготовителем. Аккумуляторы должны использоваться в характерной для них окружающей среде, согласно ТУ. Аккумуляторы должны быть герметичными или герметичными с регулирующим клапаном. Газ, выделяемый аккумулятором, взрывоопасен.

Применение аккумуляторных батарей с методом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь»

Портативное взрывобезопасное оборудование в большинстве случаев применяется соответствующее виду взрывозащиты «i» (искробезопасная электрическая цепь). В портативных искробезопасных устройствах целесообразно использовать взрывозащищенные аккумуляторы, прошедшие испытания согласно ГОСТ Р МЭК 60896-2013 или аналогичному стандарту.

В каждом взрывозащищенном аккумуляторе должно быть достаточное свободное пространство для исключения вытекания электролита вследствие его расширения, а в нижней части – достаточное свободное пространство для отложения шлама. Общий объем свободного пространства должен устанавливаться в зависимости от предполагаемого срока службы аккумулятора.

Оболочки взрывозащищенных аккумуляторов должны быть сконструированы таким образом, чтобы при нормальных условиях эксплуатации, чистки и обслуживания исключалась опасность воспламенения от электростатических зарядов. Данное требование удовлетворяет специальная антистатическая пластмасса, у которой сопротивление изоляции менее 109 Ом. Металлические оболочки более доступные, однако материал оболочки должен быть фрикционно-безопасным [6].

Взрывозащищенные аккумуляторы должны быть снабжены системой аварийного снятия высокого внутреннего давления.



Взрывозащищенные аккумуляторные батареи не должны создавать скачки тока, которые могут привести к искре или ухудшить искробезопасность устройства. Поэтому в конструкцию взрывобезопасных аккумуляторов входит ограничитель тока.

Примеры взрывозащищенных аккумуляторных батарей приведены на рис. 1.



Рис. 1. Примеры взрывозащищенных аккумуляторов: а – «Motorola NNTN7383 ATEX», б – «DENWIN SMART DW-4489» и в – «Genesis EP G26EP»

Напряжение питания аккумулятора «Motorola NNTN7383 ATEX» равняется 7,2 В. Это литий-ионный аккумулятор. Его емкость составляет 725 мАч.

Напряжение питания аккумулятора «DENWIN SMART DW-4489» равняется 7,4 В. Это литий-ионный аккумулятор. Емкость составляет 2900 мАч.

Напряжение питания аккумулятора «Genesis EP G26EP» равняется 12 В. Это литий-ионный аккумулятор. Емкость составляет 26 Ач.

Аккумуляторный отсек

В некоторых случаях целесообразно использовать не взрывозащищенные аккумуляторы из-за того, что их стоимость значительно ниже, чем у взрывобезопасных аккумуляторов. В приборах с видом взрывозащиты Exi аккумулятор необходимо размещать в аккумуляторном отсеке. Аккумуляторный отсек является частью устройства и вмещает один или несколько элементов и батарей. Аккумуляторный отсек во взрывобезопасном оборудовании должен быть выполнен с учетом представленных ниже требований.

Аккумуляторный отсек должен быть герметичным и газонепроницаемым. Поверхность отсека должна быть электролитонепроницаемой и химически стойкой к электролиту. Аккумуляторный отсек должен быть цельнотянутым (бесшовным), быть уплотненным резиновыми или пластмассовыми герметизирующими устройствами, фиксируемыми конструкцией оболочки и обеспечивающими постоянное уплотнение, например прокладками (шайбами).

Если в аккумуляторном отсеке для герметизации используется заливочный компаунд, то производитель этого компаунда должен гарантировать возможность его использования с данным электролитом и соответствие компаунда п. 6.6 ГОСТ 31610.11-2012. Аккумуляторный отсек должен быть достаточно прочным, чтобы выдержать механические воздействия, которые зависят от условий эксплуатации. Аккумуляторный отсек должен быть сконструирован так, чтобы надежно фиксировать батарею. Аккумуляторный отсек должен быть выполнен в соответствии с п. 7.4.9 ГОСТ 31610.11-2012.

Размещение ограничителей тока в аккумуляторном отсеке

Так как питание по искробезопасной цепи ограничено допустимыми параметрами, обеспечивающими искробезопасность цепи «i», вместе с аккумуляторами используют ограничители тока.

Ограничители тока необходимы для того, чтобы предотвратить выход параметров тока за установленные для устройства предельные параметры. Токоограничительные устройства необходимы и для того, чтобы предотвратить перегрузки, приводящие к ухудшению параметров аккумулятора.



Аккумуляторы, не прошедшие надлежащие испытания, в связи со своими особенностями изготовления, в зависимости от времени и перегрузок, могут изменять свою форму. Данный фактор зависит от производителя. Этот параметр нужно учитывать при размещении аккумуляторов. Из-за этого для аккумулятора отводится дополнительное свободное пространство в аккумуляторном отсеке.

Токоограничительные устройства, как правило, устанавливаются внутри аккумуляторного отсека, потому что при возникновении неисправности разрыв цепи происходит в отсеке. Ограничители тока целесообразно размещать внутри отсека, так как при коротком замыкании в устройстве возникнет меньше повреждений, чем при размещении токоограничительного устройства вне отсека. Однако токоограничительное устройство может быть установлено вне батарейного отсека в том случае, если оно будет выполнять свои функции и это не создаст дополнительного риска воспламенения взрывоопасной смеси во взрывоопасной зоне.

Размещение аккумуляторов во взрывонепроницаемой оболочке

Аккумуляторные батареи достаточно часто размещают внутри взрывонепроницаемой оболочки. Это связано с тем, что аккумулятор, не предусмотренный для использования во взрывоопасной среде и не прошедший соответствующие испытания, может взорваться.

Если в устройстве используется вид взрывозащиты «d», то внешняя оболочка источника энергии должна иметь достаточную прочность, чтобы выдержать взрывной удар при возможном взрыве аккумулятора.

Если к аккумулятору предъявляются специальные требования из-за особенностей среды, в которой он размещен или особенностей работающих с ним устройств, то параметры аккумулятора, не указанные в ТУ, необходимо уточнить у изготовителя аккумуляторов.

Оболочка должна быть герметичной, электролитонепроницаемой и химически стойкой к электролиту. Оболочка должна быть сконструирована в соответствии с п. 4.7.6 ГОСТ 31610.11-2016. Крайне важно, чтобы для устройства, которое будет эксплуатироваться во взрывоопасной среде, была правильно подобрана группа взрывонепроницаемой оболочки. Энергия взрыва аккумулятора зависит от его химического состава, оболочки аккумулятора, емкости, тока питания, размеров. Кроме того, на взрыв аккумулятора способны также повлиять такие факторы, как состояние аккумулятора, которое в некоторых ситуациях со временем может сильно измениться, большое значение имеет и газозадушенная смесь внутри аккумуляторного отсека, дело в том, что внутрь отсека может попасть влага, газ или иные вещества, это может произойти при разгерметизации. Учитывая все факторы, которые могут повлиять на взрыв аккумулятора, точную энергию возможного взрыва аккумулятора определить невозможно, из-за этого группу взрывонепроницаемой оболочки нужно выбирать с учетом наибольшей возможной энергии взрыва, которая может выделиться при поломке аккумулятора, эксплуатируемого согласно ТУ.

Если аккумулятор размещен во взрывонепроницаемой оболочке, которая способна поглотить энергию при взрыве аккумулятора, устройство имеет герметичные изоляционные выходы, при взрыве аккумулятора температура устройства не будет выше установленного для него температурного класса, из устройства не вырвется искра и поломка не приведет к взрыву взрывоопасной смеси во взрывоопасной зоне, в которой используется прибор, то допустимо отсутствие токоограничительного устройства для батареи.

Особенности зарядки аккумуляторов

В связи с тем, что к зарядной конструкции, применяемой во взрывоопасной зоне, предъявлен ряд требований, целесообразно заряжать аккумулятор во взрывобезопасной среде, если это возможно. Однако в некоторых ситуациях из-за трудоемкости и/или нецелесообразности транспортировки аккумулятора из зоны эксплуатации, а также других возможных причин, необходимо производить зарядку аккумулятора внутри взрывоопасной зоны. В данной ситуации аккумулятор и зарядное устройство должны соответствовать предъявленным ниже требованиям.

К установке допускаются только стандартизированные элементы. В табл. 1 приведены распространенные типы аккумуляторов, которые могут быть применены вместе с искробезопасным оборудованием.



Таблица 1

Требования к аккумуляторам

| Тип аккумулятора | Наименование электролита | Максимальное зарядное напряжение (на элемент), В | Максимальное напряжение холостого хода (для оценки искробезопасности), В |
|-------------------------|--|--|--|
| Свинцово-кислотные | Серная кислота (плотность – 1,25–1,32 г/см ³) | до 2,7 | 2,67* 2,35 ** |
| Никель-кадмиевые | Гидроксид калия (плотность – 1,3 г/см ³) | 1,6 | 1,55 |
| Железо-никелевые | Гидроксид калия (плотность – 1,3 г/см ³) | 1,6 | 1,6 |
| Литиевые | Безводная органическая соль | до 4,2 | 4,2 |
| Никель-металлогидридные | Гидроксид калия | 1,5 | 1,6 |

*Наливной элемент – элемент с жидким электролитом, который может быть восполнен

**Сухой элемент – элемент, содержащий связанный электролит

Конструкция зарядного устройства должна соответствовать параметрам окружающей среды, в которой электрооборудование эксплуатируется. Если аккумуляторы и аккумуляторные батареи являются неотъемлемой частью электрооборудования во взрывоопасной зоне, то зарядное устройство должно быть частью конструкции электрооборудования.

Определенные аккумуляторы не должны заряжаться во взрывоопасных зонах, так как это влечет за собой высокий риск возникновения аварии [7]. Аккумуляторы, например литий-ионные батареи, могут взорваться или воспламениться при неправильной зарядке.

Особенности коммутации

Немаловажно, чтобы при коммутации внешних проводников с устройствами с батарейным питанием не возникло искры. В связи с этим к контактам батареи и соединителям предъявляется ряд требований.

Требования к блокировке:

– соединители должны быть сконструированы таким образом, чтобы крепление вилки розетки производилось с использованием специальных деталей для крепления [8]. Обязательна также надпись предупредительного характера: «Разъединять, отключив от сети»;

– на соединителях взрывозащищенного оборудования должна быть поставлена электрическая или механическая блокировка, исключающая возможность разъединения контактов, если они находятся под напряжением. При разъединении контактов она должна дать возможность подачи на них питания.

При эксплуатации аккумуляторных батарей во взрывоопасных зонах должны быть предусмотрены меры для предупреждения нарушения взрывозащиты из-за изменения полярности присоединения источника питания или на соединительных контактных зажимах для присоединения аккумуляторной батареи, в которой это может произойти [9]. Для этого можно, например, последовательно включить диод в цепь питания.

В нормальном режиме работы в контактных электрических соединениях должно обеспечиваться требуемое контактное давление. В частности, на него не должны отрицательно влиять изменения размеров изоляционных материалов в процессе эксплуатации (вследствие изменений температуры, влажности и т.д.). Не искрящие электрические соединения должны иметь конструкцию, при которой возникновение искрения в условиях вибрации было бы невозможным.

Трубные вводы должны иметь такую конструкцию и быть установлены таким образом, чтобы они обеспечивали взрывозащиту и специальные характеристики электрооборудования, на котором они установлены, и должны ввинчиваться в резьбовые отверстия или закрепляться в сквозных отверстиях, которые могут находиться:

а) в стенке оболочки;

б) в промежуточной пластине, предназначенной для установки внутри оболочки или закрепленной на оболочке;

в) в переходной коробке, являющейся частью оболочки или закрепленной на оболочке.

Примеры конструкций вводов приведены на рис. 2.

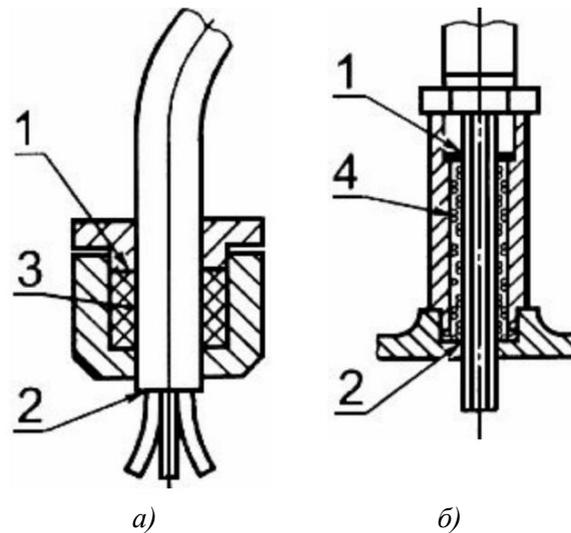


Рис. 2. Примеры конструкций вводов: *а* – кабельный ввод, *б* – трубчатый ввод: 1 – место ввода; 2 – место заделки (разветвления жил); 3 – уплотнительное кольцо; 4 – заливка компаундом

Примеры вводов серийного изготовления представлены на рис. 3.

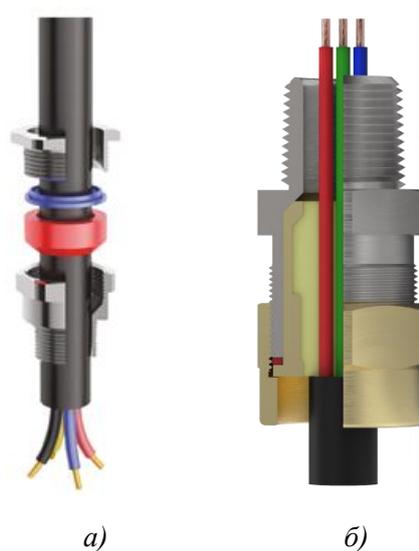


Рис. 3. Примеры вводов: *а* – кабельный ввод; *б* – трубчатый ввод

Требования к изоляции

Помимо того, что соединители должны быть сконструированы надлежащим образом, они также должны иметь изоляцию, соответствующую параметрам аккумулятора и среде эксплуатации.

Изоляция между токоведущими частями должна быть надежной, иметь высокую электрическую прочность и выдерживать без пробоя соответствующие для прибора параметры тока.

Одним из параметров изоляции является трекинговая стойкость. Трекинговая стойкость – один из показателей диэлектрика сопротивляться электрическому разрушению. Трекинговая стойкость показывает, насколько диэлектрик сопротивляется образованию проводящих треков (дорожек), которые образуются при воздействии электрических токов дуговых разрядов, протекании электрического тока через образовавшуюся росу или туман [10].

Данная характеристика особенно важна при выборе материалов для электроизоляции и монтажа электрооборудования, установленного на улице, а также в помещениях с высокой влажностью и плотностью частиц в воздухе.

В зависимости от величины трекинговой стойкости материалы можно разделить на несколько групп. Группы материалов представлены в табл. 2.



Трекингостойкость изоляционных материалов

| Группа материала | Минимальный сравнительный индекс трекингостойкости |
|------------------|--|
| I | $600 \leq \text{СТИ}$ |
| II | $400 \leq \text{СТИ} \leq 600$ |
| IIIa | $175 \leq \text{СТИ} \leq 400$ |
| IIIб | $100 \leq \text{СТИ} \leq 175$ |

Заключение

К взрывобезопасным аккумуляторным батареям, используемым во взрывобезопасном оборудовании, предъявляются высокие требования, так как аккумуляторы не должны стать причиной возникновения аварии и/или не должны отрицательно влиять на искробезопасность оборудования, используемого во взрывоопасных зонах.

Однако в целях удешевления допускается использование невзрывобезопасных аккумуляторов. Их можно применять в отдельных отсеках или взрывозащитных оболочках, что позволит предотвратить воспламенение и/или поломку связанного оборудования при взрыве аккумулятора. Такое размещение аккумулятора позволит снизить требования к нему. Однако сами отсеки и оболочки должны быть надежными и подходить под все критерии взрывобезопасности. Должны быть приняты необходимые меры, чтобы при коммутации аккумулятора не появилась искра или же поломка оборудования. Вводы, как и изоляция, должны быть надежными и выполнять все необходимые требования взрывобезопасности.

Зарядку портативных устройств целесообразно производить вне взрывоопасной зоны, это даст возможность применять более дешевую конструкцию зарядных устройств и самих аккумуляторов. К зарядному устройству, которое можно использовать во взрывоопасной среде, предъявлены гораздо более высокие требования, вследствие чего его стоимость гораздо выше.

Список литературы

1. Yurkov N. K., Grishko A. K., Lysenko A. V., Danilova E. A., Kuzina E. A. Intellectual method for reliability assessment of radio-electronic means // 2018 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE 2018. Саратов : IEEE, 2018. P. 105–112.
2. Голушко Д. А., Затылкин А. В., Лысенко А. В. О скорости изменения частоты при проведении испытаний для определения динамических характеристик конструкции // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2015. Т. 1, № 4 (26). С. 147–154.
3. Yurkov N. K., Tankov G. V., Lysenko A. V., Trusov V. A. On the problem of experimental research of forced vibrations of plates // Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016. Saint Petersburg, 2016. P. 416–418. doi: 10.1109/SCM.2016.7519798
4. Юрков Н. К., Затылкин А. В., Полесский С. Н., Иванов И. А., Лысенко А. В. Методы повышения точности прогнозирования показателей надежности наукоемких сложных электронных систем // Современные информационные технологии. 2014. № 19. С. 183–187.
5. Лысенко А. В., Затылкин А. В., Ястребова Н. А. Конструкция и методика расчета гибридного виброамортизатора с электромагнитной компенсацией // Вестник Пензенского государственного университета. 2013. № 4. С. 73–78.
6. ГОСТ МЭК 61340-4-1. Электростатика. Методы испытаний для прикладных задач. Электрическое сопротивление напольных покрытий и установленных полов. М. : Стандартинформ, 2018. 5 с.
7. ГОСТ 31610.11-2014. Взрывоопасные среды. Часть 11. Оборудование с видом взрывозащиты искробезопасная электрическая цепь i. М. : Стандартинформ, 2016. 2 с.
8. ГОСТ 31610.0-2014. Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования. М. : Стандартинформ, 2015. 28 с.
9. ГОСТ Р 51330.0-99. Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 0. Общие требования. М. : Изд-во стандартов, 2001. 15 с.
10. ГОСТ Р 53325-2009. Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие требования. Методы испытаний. М. : Стандартинформ, 2009. 39 с.



References

1. Yurkov N.K., Grishko A.K., Lysenko A.V., Danilova E.A., Kuzina E.A. Intellectual method for reliability assessment of radio-electronic means. *2018 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE 2018*. Saratov: IEEE, 2018:105–112.
2. Golushko D.A., Zatytkin A.V., Lysenko A.V. On the rate of frequency change during tests to determine the dynamic characteristics of the structure. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastojashhego pljus = XXI century: the results of the past and the problems of the present plus*. 2015;1(4):147–154. (In Russ.)
3. Yurkov N.K., Tankov G.V., Lysenko A.V., Trusov V.A. On the problem of experimental research of forced vibrations of plates. *Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016*. Saint Petersburg, 2016:416–418. doi: 10.1109/SCM.2016.7519798
4. Jurkov N.K., Zatytkin A.V., Polesskij S.N., Ivanov I.A., Lysenko A.V. Methods for improving the accuracy of forecasting reliability indicators of high-tech complex electronic systems. *Sovremennye informacionnye tehnologii = Modern information technologies*. 2014;(19):183–187. (In Russ.)
5. Lysenko A.V., Zatytkin A.V., Jastrebova N.A. Design and calculation method of a hybrid vibration dampener with electromagnetic compensation. *Vestnik Penzenskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of the Penza State University*. 2013;(4):73–78. (In Russ.)
6. GOST MJeK 61340-4-1. *Jelektrostatika. Metody ispytanij dlja prikladnyh zadach. Jelektricheskoe soprotivlenie napol'nyh pokrytij i ustanovlennyh polov = Electrostatics. Test methods for applied tasks. Electrical resistance of floor coverings and installed floors*. Moscow: Standartinform, 2018:5. (In Russ.)
7. GOST 31610.11-2014. *Vzryvoopasnye sredy. Chast' 11. Oborudovanie s vidom vzryvozashhity iskrobezopasnaja jelektricheskaja cep' i = Explosive environments. Part 11. Equipment with type of explosion protection intrinsically safe electrical circuit i*. Moscow: Standartinform, 2016:2. (In Russ.)
8. GOST 31610.0-2014. *Vzryvoopasnye sredy. Chast' 0. Oborudovanie. Obshhie trebovanija = Explosive environments. Part 0. Equipment. General requirements*. Moscow: Standartin-form, 2015:28. (In Russ.)
9. GOST R 51330.0-99. *Jelektrooborudovanie vzryvozashhishhennoe. Chast' 0. Obshhie trebovanija = The electrical equipment is explosion-proof. Part 0. General requirements*. Moscow: Izd-vo standartov, 2001:15. (In Russ.)
10. GOST R 53325-2009. *Tehnika pozharnaja. Tehnicheskie sredstva pozharnoj avtomatiki. Obshhie trebovanija. Metody ispytanij = Fire fighting equipment. Technical means of fire automation. General requirements. Test methods*. Moscow: Standartinform, 2009:39. (In Russ.)

Поступила в редакцию / Received 10.03.2024

Принята к публикации / Accepted 10.04.2024