

УДК 622.625.6

Рябко К.А., канд. техн. наук, доцент
Донецкий институт железнодорожного транспорта

Ryabko K.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Donetsk Institute of Railway Transport

ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ШАХТНЫХ ПОДВЕСНЫХ МОНОРЕЛЬСОВЫХ ЛОКОМОТИВОВ

EXPLOSION PROTECTION OF BATTERIES FOR MINING SUSPENDED MONORAIL LOCOMOTIVES

Учитывая динамику развития подвесных монорельсовых дорог, [1, 2] необходимо выделить в отдельную группу шахтные подвесные монорельсовые локомотивы на аккумуляторной тяге, служащие для перевозки, как людей, так и грузов в условиях подземных горных выработок.

Выполненный анализ конструкции электрического привода шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге свидетельствует, что в качестве источника электрической энергии возможно применение трех электрохимических систем, а именно, щелочной, свинцово-кислотной и литий-ионной [3, 4].

Горнотранспортные машины, а, в частности, подвесные монорельсовые локомотивы как правило, оборудованы электрическими машинами и аппаратами с уровнем взрывозащищенности РВ (рудничное взрывобезопасное). Однако из-за применения химических источников тока на аккумуляторных монорельсовых локомотивах данный подвижной состав относится к классу безопасности РП (рудничные повышенной надёжности) [5].

Подвесные монорельсовые локомотивы на аккумуляторной тяге в исполнении РП могут применяться:

- в откаточных выработках шахт I и II категорий по газу или опасных по пыли;
- в откаточных выработках со свежей струёй воздуха шахт III категории и сверхкатегорийных по газу;
- в откаточных выработках со свежей струёй воздуха на пластах не опасных по внезапным выбросам и на шахтах опасных по внезапным выбросам.

Подвесные монорельсовые локомотивы на аккумуляторной тяге в исполнении РВ могут эксплуатироваться:

- в откаточных выработках шахт, опасных по газу или пыли;

– в выработках шахт с исходящей струёй воздуха и тупиковых, проветриваемых вентиляторами местного проветривания;

– на шахтах III категории, сверхкатегорийных по газу и опасных по внезапным выбросам.

Как правило, все электрооборудование аккумуляторных электровозов, за исключением аккумуляторных батарей, имеет взрывобезопасное исполнение, что определяется сборником документов «Безопасность горнотранспортного оборудования, электроустановок и электрооборудования угольных шахт и разрезов» [6] и должно соответствовать их требованиям.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод об актуальности исследований, направленных на разработку новых подходов при оценке взрывобезопасности аккумуляторных батарей и проектирование перспективных методов взрывобезопасности химических источников тока шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге.

Рассмотрим требования, предъявляемые к аккумуляторным батареям для подвесных монорельсовых локомотивов в исполнении РП и РВ:

- конструкция батарейных ящиков и аккумуляторных батарей должна выдерживать испытания, а также отвечать требованиям действующей нормативно-технической документации;

- в некоторых случаях допускается в отсеках батарейных ящиков напряжение выше 40 В, если приняты дополнительные меры по обеспечению высокого сопротивления изоляции аккумуляторных батарей относительно корпуса ящика;

- расположение аккумуляторов должно исключать возможность прикосновения человека к токопроводящим частям с напряжением выше 40 В;

- батарейные ящики должны изготавливаться с учетом возможности снятия их с локомотива;

- сборка элементов в батарею должна выполняться с помощью гибких изолированных перемычек, которые не должны нести никакой механической нагрузки.

Выполненный обзор требований, предъявляемых к аккумуляторным батареям для подвесных монорельсовых локомотивов в исполнении РП и РВ, не оговаривает взрывобезопасности самих химических источников тока, которые, в свою очередь, могут являться источниками возгораний или взрывов.

При применении жидкостных аккумуляторных батарей, щелочных или кислотных возникает задача отвода выделяемых газов в процессе работы. При протекании химических реакций в свинцово-кислотных и щелочных батареях происходит выделение водорода. Смесь водорода с воздухом взрывоопасна и называется гремучим газом. При воспламенении

смесь водорода с воздухом небольшого объёма сгорает чрезвычайно быстро. Следует отметить, что гремучий газ способен к детонации. При этом действие взрыва может оказывать воздействие на взрывозащитную оболочку аккумуляторного отсека, что, в свою очередь, приведет к нарушению ее целостности.

Соответственно при применении жидкостных химических систем в качестве источников питания шахтных подвесных монорельсовых локомотивов возникает проблема разработки критерия оценки взрывобезопасности аккумуляторных батарей и мероприятий, направленных на повышение взрывозащищенности аккумуляторного отсека и его вентиляции.

Следует отметить, что на данный момент в роли тяговых аккумуляторов находят широкое применение герметичные безжидкостные электрохимические системы, а именно: литий-ионные, фторид-ионные, полимерные и другие.

Существенным недостатком литий-ионных аккумуляторов является самонагрев электролита, который может перейти в тепловой разгон, который приводит к быстрому повышению давления и температуры в ячейке с последующим воспламенением батареи. Основные причины теплового разгона в эксплуатации: механическое повреждение, короткое замыкание, перегрев, перезарядка. В результате теплового разгона из аккумулятора происходит выделение легковоспламеняющихся газов, основные из которых – метан, этан, этилен. Утечка газа из литий-ионной аккумуляторной батареи шахтного подвесного монорельсового локомотива является серьезной проблемой, поскольку выделяемые газы являются легковоспламеняющимися [7, 8], а их воспламенение представляет собой угрозу, которая может вызвать взрыв и пожар в горной выработке.

Рассмотрим мероприятия по повышению взрывобезопасности аккумуляторных батарей шахтных подвесных монорельсовых локомотивов. Вне зависимости от электрохимической системы аккумулятора принимаемые мероприятия могут быть нескольких типов:

- конструктивные, связанные с конструкцией аккумулятора и его электрохимической системой;
- схемные, разработка систем управления и контроля параметров работы аккумулятора по сигналам датчиков (температуры, напряжения, тока, давления т. п.);
- защитные, разработка перспективных и модернизация существующих взрывозащитных оболочек аккумуляторов и электрооборудования;
- организационные, разработка обоснованных правил безопасности, учитывающих специфику эксплуатации и тип аккумулятора в составе батареи шахтного подвесного монорельсового локомотива.

С целью оценки взрывоопасности аккумуляторных батарей шахтных подвесных монорельсовых локомотивов предлагается использовать показатель риска взрывоопасности:

$$Q_{pb} = Q_{n_3} \cdot (1 - K_{so}) \cdot P_{nbc},$$

где Q_{n_3} – частота возникновения неисправностей электрооборудования силовой цепи шахтных подвесных монорельсовых локомотивов;

K_{so} – коэффициент, учитывающий соответствие электрооборудования требованиям нормативных документов;

P_{nbc} – вероятность наличия взрывоопасной среды в выработке, где эксплуатируется аккумуляторный шахтный подвесной монорельсовый локомотив.

Оценку взрывоопасности аккумуляторных батарей шахтных подвесных монорельсовых локомотивов также можно выполнять по показателю, учитывающему критерии нештатной работы – вероятность риска взрывоопасности:

$$P(Q_{pb}) = P(N_{K3})P(Q_{pb} / N_{K3}) + P(N_{MП})P(Q_{pb} / N_{MП}) + \dots + P(N_i)P(Q_{pb} / N_i),$$

где $P(N_{K3})$ – вероятность кроткого замыкания в цепи аккумуляторной батареи шахтного подвесного монорельсового локомотива;

$P(Q_{pb} / N_{K3})$ – вероятность, что риск взрывоопасности возникнет из-за кроткого замыкания в цепи аккумуляторной батареи шахтного подвесного монорельсового локомотива;

$P(N_{MП})$ – вероятность механического повреждения оболочки аккумуляторной батареи шахтного подвесного монорельсового локомотива;

$P(Q_{pb} / N_{MП})$ – вероятность, что риск взрывоопасности возникнет из-за механического повреждения оболочки аккумуляторной батареи шахтного подвесного монорельсового локомотива;

$P(N_i)$ – вероятность i неисправности аккумуляторной батареи или силовой цепи шахтного подвесного монорельсового локомотива;

$P(Q_{pb} / N_i)$ – вероятность, что риск взрывоопасности возникнет из-за i неисправности аккумуляторной батареи или силовой цепи шахтного подвесного монорельсового локомотива.

Имея статистические данные отказов электрооборудования шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге или статистику нештатных ситуаций в работе силовой цепи, можно выполнить оценку взрывоопасности аккумуляторных батарей, которая, в свою очередь, позволит предотвратить возникновение взрыва или пожара в

горной выработке, тем самым повысив промышленную безопасность горных предприятий.

Список литературы

1. Васильев К.А. Транспортные машины и оборудование шахт и рудников: учеб. пособие / К.А. Васильев, А.К. Николаев, К.Г. Сазонов. – Санкт-Петербург: Лань, 2012. – 544 с.
2. Ульянов В.В. Каким должен быть в угольных шахтах вспомогательный транспорт / В.В. Ульянов, А.В. Ремезов // Сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. (25-26 мая 2016 года). – Кемерово: ЗапСибНЦ. – 2016. – Том II. – С. 40-70.
3. Гутаревич В.О. Обзор конструкций тяговых аккумуляторных батарей, применяемых на шахтных электровозах / В.О. Гутаревич, К. А. Рябко, Е.В. Рябко, В.А. Захаров // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2020. – № 2. – С. 109-118.
4. Pieczora E. Rozwój napędów dołowych kolejek podwieszonych / E. Pieczora, H. Suffner // Maszyny Górnictwa. – 2017. – №3. – P. 44-57.
5. Шахтный подземный транспорт: в 2 т. Том 1. Шахтный локомотивный и рельсовый транспорт / Под общ. ред. Б.А. Грядущего; Науч.-исслед. ин-т горн. механики им. М.М. Федорова. – Донецк: ВИК, 2011. – 481 с.
6. Безопасность горнотранспортного оборудования, электроустановок и электрооборудования угольных шахт и разрезов: сборник документов / отв. сост.-разраб. А.И. Субботин и др. – Москва: Пром. безопасность, 2008. – 158 с.
7. Елисеев Ю.Н. Анализ пожарной опасности литий-ионных аккумуляторных батарей / Ю.Н. Елисеев, А.В. Мокряк // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербург. ун-та ГПС МЧС России». – 2020. – № 3. – С. 14-17.
8. Кожевников А.Н. Поведение литий-ионного аккумулятора емкостью 150 А·ч в экстремальных ситуациях / А.Н. Кожевников [и др.] // Электрохимическая энергетика. – 2008. – Т. 8. – № 1. – С. 46-50.

References

1. Vasiliev K.A. Transport machines and equipment for mines and mines: textbook. allowance / K.A. Vasiliev A.K. Nikolaev, K.G. Sazonov. St. Petersburg: Lan. 2012. 544 p.
2. Ulyanov V.V., Remezov A.V. What should be auxiliary transport in coal mines. mater. Int. scientific-practical conf. (May 25-26, 2016). Volume II. Kemerovo: ZapSibNC. 2016 pp. 40-70.
3. Gutarevich V.O. et al. Review of the designs of traction accumulator batteries used on mine electric locomotives // News of higher educational institutions. Mining Journal. 2020. No. 2. pp. 109-118.

4. Pieczora E. Rozwój napędów dołowych kolejek podwieszonych / E. Pieczora, H. Suffner // *Maszyny Górnictwa*. 2017. No. 3. pp. 44-57.
5. Mine underground transport: in 2 vol. Vol. 1. Mine locomotive and rail transport / under total. ed. B. A. Gryadushchego; Nauchn.-issled. in-t forge. mechanics them. M. M. Fedorova. Donetsk: VIK, 2011. 481 p.
6. Safety of mining equipment, electrical installations and electrical equipment of coal mines and open-pit mines: collection of documents / res. comp.-developer A.I. Subbotin and others. Moscow: Prom. Security. 2008. 158 p.
7. Eliseev Yu.N., Mokryak A.V. Analysis of the fire hazard of lithium-ion storage batteries // *Scientific-analyt. zhurn. «Bulletin of St. Petersburg. University State Fire Service EMERCOM of Russia»*. 2020. No. 3. pp. 14-17.
8. Kozhevnikov A.N. Behavior of a lithium-ion battery with a capacity of 150 A·h in extreme situations. Kozhevnikov [et al.] // *Electrochemical energy*. 2008. Vol. 8. No. 1. pp. 46-50.