

**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 свыше 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 свыше 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 объема сгорает чрезвычайно быстро. Следует отметить, что гремучий газ способен к детонации. При этом действие взрыва может оказать 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:

$$Q_{pв} = Q_{нэ} \cdot (1 - K_{эо}) \cdot P_{нвс},$$

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

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

$P_{нвс}$  – 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:

$$P(Q_{pв}) = P(N_{кз})P(Q_{pв} / N_{кз}) + P(N_{мп})P(Q_{pв} / N_{мп}) + \dots + P(N_i)P(Q_{pв} / N_i),$$

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

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

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

$P(Q_{pв} / N_{мп})$  – 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;

$P(Q_{pв} / N_i)$  – 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 Górnicze. – 2017. – №3. – Р. 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.-Петерб. 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 Górnicze. 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.