

УДК 622:621.31

В.М. Ефременко, к.т.н., доцент  
Р.В. Беляевский, ст. преподаватель  
Скребнева Е.В., аспирант  
(КузГТУ, г. Кемерово)

## ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СРЕДСТВ ВЗРЫВОЗАЩИТЫ РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

При работе рудничного взрывозащищенного электрооборудования возникает необходимость в принятии решения о возможности дальнейшей эксплуатации, ремонте или снятия знака «РВ» и использовании его в не-взрывоопасных средах, либо утилизации. Одним из наиболее распространенных видов взрывозащиты рудничного электрооборудования является взрывонепроницаемая оболочка, взрывозащитные свойства которой обеспечиваются рядом конструктивных элементов. В зависимости от возможного состояния этих элементов оболочка может обеспечивать или не обеспечивать взрывобезопасность электрооборудования. Проведенные нами исследования [1] показали, что основными элементами являются: щелевой зазор между отдельными элементами оболочки; пружинные шайбы, обеспечивающие постоянство данного зазора; заглушки нерабочих кабельных вводов; специальные уплотнительные кольца кабельных вводов; приливы вокруг крепежных элементов (болтов) и другие.

Особенностью повреждения данных элементов, обеспечивающих взрывозащиту, является то, что повреждение (или изменение параметров – например, увеличение взрывозащитной щели) не приводит к отказу в работе электроустановки (двигателя, пускателя, автоматического выключателя), а приводит к переходу электроустановки из состояния «исправное и работоспособное» в состояние «неисправное работоспособное». При этом данная электроустановка с неисправной (поврежденной) взрывозащитой может работать как угодно долго. Практически все дефекты элементов взрывозащиты не поддаются инструментальному измерению, и неисправность обнаруживается только при очередном визуальном осмотре.

Кроме того, следует отметить, что даже если неисправность (дефект) одного или нескольких элементов взрывозащиты выявляется при осмотре, возникает проблема оценки степени влияния данного дефекта на взрывозащитные свойства оболочки. Несмотря на имеющиеся нормативные документы [2], оценка состояния взрывозащиты является субъективной и может толковаться на разных предприятиях и разным персоналом различно. Принятие правильного (оптимального) решения в этом случае является сложной проблемой и требует от лица, принимающего решение, высокой квалификации. Особое место в принятии решения занимает, так называе-

мый «интегрированный» подход, сочетающий интуицию и логику персонала, принимающего решение, с использованием математических методов и вычислительных экспериментов. В качестве одного из таких возможных методов определения состояния средств взрывозащиты рудничного электрооборудования нами предлагается использовать метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов (метод FMEA – Failure Mode and Effects Analysis). Метод позволяет проанализировать возможные дефекты средств взрывозащиты, выявить причины их появления и оценить последствия их проявления и возможной вероятности их необнаружения. Метод FMEA является экспертным методом. Эксперты по балльной системе количественно оценивают следующие параметры:

- параметр частоты возникновения дефекта элемента взрывозащиты  $B_1$  (наивысший балл при большой частоте возникновения дефекта);
- параметр тяжести последствий дефекта  $B_2$  (наивысший балл присваивается дефектам с наиболее тяжелыми последствиями);
- параметр вероятного обнаружения дефекта  $B_3$  (наивысший балл присваивается «скрытым» дефектам, которые не могут быть выявлены до наступления последствий);
- параметр риска потребителя (критичности отказа)  $C$ :

$$C = B_1 \cdot B_2 \cdot B_3. \quad (1)$$

Чем выше показатель критичности отказа, тем актуальней проблема его недопущения.

На основании анализа принимается решение об устранении дефектов и дальнейшей эксплуатации электрооборудования либо вывода его из эксплуатации и последующей утилизации. Кроме того, данный метод позволяет выявить наиболее «слабые» места в конструкции системы взрывозащиты, оценить степень влияния каждого элемента на уровень взрывозащиты, также разработать рекомендации по изменению или совершенствованию конструкции.

Для экспертной оценки видов и последствий дефектов взрывозащиты на предприятии создается постоянно действующая рабочая группа, которая разрабатывает необходимую документацию, организует процедуру опроса экспертов, обрабатывает и анализирует полученную информацию. Руководителем рабочей группы приказом по предприятию назначается лицо, непосредственно осуществляющее оценку состояния взрывозащиты и дающее заключение о соответствии или несоответствии электрооборудования требованиям нормативной и конструкторской документации в части взрывозащиты. Он формирует состав рабочей группы, составляет программу, принимает участие в опросе экспертов и анализирует полученные результаты.

В обязанности рабочей группы входит: подбор специалистов-экспертов; выбор наиболее приемлемого метода экспертных оценок и разработка соответствующей процедуры опроса и форм опросных листов; проведение опроса; обработка материалов опроса; анализ полученной информации; выработки оценок, необходимых для принятия решения. Для повышения эффективности работы необходимо использовать программные средства, позволяющие обрабатывать результаты с последующей разработкой рекомендаций и выдачей их в виде наряда на выполнение работ по устранению дефектов.

В состав экспертной группы включаются специалисты предприятия, имеющие практический опыт работы и высокий профессиональный уровень. Уровень квалификации эксперта устанавливается коэффициентом компетентности:

$$K_k = \frac{K_3 + K_a}{2}, \quad (2)$$

где  $K_3$  – коэффициент степени знакомства эксперта с рассматриваемым вопросом ( $K_3 = 0,1 \div 1,0$ );  $K_a$  – коэффициент аргументированности вывода эксперта ( $K_a = 0,5 \div 1,0$ ).

При  $K_k = 1,0 \dots 0,7$  квалификация эксперта высокая, при  $K_k = 0,69 \dots 0,40$  – удовлетворительная, при  $K_k \leq 0,40$  – низкая.

Количественный состав экспертов может быть определен следующим образом:

$$m_3 \geq \frac{h^2 r_a r_o}{\Delta^2} = \frac{0,95^2 \cdot 0,95 \cdot 0,05}{0,05^2} = 17,2 \approx 18. \quad (3)$$

где  $h = 0,95$  – доверительный коэффициент;  $r_a$  – доля элементов с наличием заданного признака;  $r_o$  – доля элементов с отсутствием заданного признака;  $\Delta$  – ошибка репрезентативности.

Экспертам были представлены таблицы с перечнем причин нарушения взрывозащиты электрооборудования (19 возможных причин), который они могли дополнить, либо вычеркнуть несущественные, на их взгляд, причины нарушения взрывозащиты. Далее экспертам было рекомендовано проранжировать данные причины в порядке убывания степени их тяжести. Результаты получения мнений экспертов обрабатывались путем установления следующих показателей:

суммы рангов по каждой причине

$$S_p = \sum_{j=1}^m a_{ij}, \quad (4)$$

где  $m$  – количество экспертов;  $a$  – оценочный балл в ранжированном ряду;  $i$  – номер причины;  $j$  – номер эксперта;  
средней суммы рангов при  $n$  факторах

$$T_p = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{a_{ij}}{n}; \quad (5)$$

отклонения от средней суммы рангов

$$J_i = S_p - T_p. \quad (6)$$

Степень согласованности мнений всех экспертов оценивалась коэффициентов конкордации:

$$W_k = 12 \sum_{i=1}^n \frac{J_i}{m_n^3 (n^3 - n)}, \quad (7)$$

значимость которого определялась критерием согласия Пирсона

$$\chi_{\text{рас}}^2 = m_n (n-1) W_k \geq \chi_{\text{табл.}}^2. \quad (8)$$

В результате для дальнейших исследований были отобраны следующие повреждения средств взрывозащиты: отсутствие или поломка пружинных шайб; наличие ржавчины на взрывозащитных поверхностях; отсутствие заглушек в неиспользуемых кабельных вводах; повреждения резьбы крепежных болтов; увеличенный против нормируемого зазор во взрывозащитных соединениях; повреждения охранных колец крепежных болтов; повреждения проходных изоляторов.

Экспертной группе было предложено оценить состояние средств взрывозащиты методом FMEA. Для показателей критичности отказа каждого дефекта была определена шкала баллов от 1 до 5. Критическое значение  $C_{kp}$  установлено на уровне 10 % от  $C_{\text{макс}} = 125$  [3].

В табл. 1 приведены значения баллов  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  и критичность отказа  $C$  для каждого элемента средств взрывозащиты.

Анализ полученных результатов показывает, что значения критичности отказов для всех элементов системы взрывозащиты больше  $C_{kp} = 12,5$ . Это объясняется как конструктивными недостатками некоторых элементов, например, креплений отдельных узлов электрооборудования с использованием пружинных шайб, поломка которых приводит к увеличению зазора во взрывозащитных соединениях, так и трудностью обнаружения воз-

никших дефектов – наличие ржавчины на взрывозащитных поверхностях, повреждения проходных изоляторов.

Таблица 1

Критичность отказа средств взрывозащиты

Вид дефекта	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$C_{\max}$
Отсутствие или поломка пружинных шайб	3...5	4...5	2...3	75
Наличие ржавчины на взрывозащитных поверхностях	4...5	4...5	4...5	125
Отсутствие заглушек в неиспользуемых кабельных вводах	4...5	4...5	2...3	75
Повреждения резьбы крепежных болтов	3...4	3...4	4...5	80
Увеличенный против нормируемого зазор во взрывозащитных соединениях	4...5	5	3...4	100
Повреждения охранных колец крепежных болтов	2...3	2...3	2...3	27
Повреждения проходных изоляторов	3...4	3...5	4...5	100

Изменение конструкции отдельных узлов средств взрывозащиты позволит повысить безопасность применения электрооборудования. Например, применение быстроразъемных соединений позволит отказаться от резьбовых соединений, пружинных шайб и охранных колец, применение штепсельных разъемов исключит до минимума необходимость вскрытия вводных устройств.

Список литературы

1. Разгильдеев, Г.И. Характеристики повреждаемости средств взрывозащиты рудничного взрывозащищенного электрооборудования / Г.И. Разгильдеев, В.М. Ефременко, В.М. Друй, Д.С. Светоносов // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: Материалы VII Международной научно-практической конференции. Т. 1. – Кемерово: КузГТУ, 2007. – С. 98–101.
2. Инструкция по осмотру и ревизии рудничного взрывобезопасного электрооборудования: утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 06.11.2013.
3. ГОСТ Р 51814.2–2001. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 19 с.