

УДК 622.621.31–213.34:622.86

Г.И. Разгильдеев, И.О. Шалаев

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДОЛГОВЕЧНОСТИ (РАСХОДОВАНИЯ РЕСУРСА БЕЗОПАСНОСТИ) ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

В [1] было отмечено, что в результате экономического кризиса 90-х годов, охватившего практически все отрасли народного хозяйства России, прекратилось обновление основных фондов на угольных шахтах, в частности, высоковольтного рудничного взрывозащищенного электрооборудования (далее – РВЗЭО). В связи с этим в настоящее время на шахтах Кузбасса по данным Южно-Сибирского управления Ростехнадзора в эксплуатации находится около 12 тысяч единиц такого электрооборудования с истекшими сроками службы, установленными изготовителями.

Продление срока безопасной эксплуатации технических устройств с истекшим сроком службы в соответствии с Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 № 116-ФЗ производят организации, получившие аккредитацию Ростехнадзора и выполняющие требования, изложенные в нормативных документах [2,3,4,5], по результатам экспертизы промышленной безопасности этих устройств.

Сроки службы комплектных распределительных устройств (КРУВ-6), комплектных трансформаторных подстанций (КТП) и высоковольтных электродвигателей (ВЭД) мощностью более 220 кВт, установленные изготовителями, составляют 15 лет.

В используемом в настоящее время госконтрольным органом руководящем документе РД 16.407-2000 «Электрооборудование взрывозащищенное. Ремонт» указано, что по истечению установленного изготовителем срока службы РВЗЭО должно пройти капитальный ремонт и освиде-

тельство в аккредитованной организации на соответствие нормам отремонтированных средств взрывозащиты. В такой постановке вопроса указанный срок службы в соответствии с ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» является ресурсом до первого капитального ремонта и не означает полного ресурса изделия. Практика показывает, что высоковольтное взрывозащищенное электрооборудование находится в эксплуатации в течение срока, существенно больше указанного изготовителями ресурса до капитального ремонта.

Как показал трехлетний опыт экспертизы промышленной безопасности перечисленного выше высоковольтного РВЗЭО, фактические сроки его службы существенно превышают установленные изготовителями значения.

В таблице приведены фактические превышения установленного изготовителями срока службы и их рассчитанные средние значения на основе статистических данных.

Из таблицы видно, что фактические сроки службы высоковольтного РВЗЭО существенно (в два и более раз) превышают установленные изготовителями сроки службы. За три года экспертизу промышленной безопасности прошли 132 комплектных распределительных устройств, 114 комплектных трансформаторных подстанций и 38 высоковольтных электродвигателей.

Экспертиза промышленной безопасности указанного выше РВЗЭО показала, что несмотря на длительную эксплуатацию оно полностью сохранило средства взрывозащиты в исправном состоянии. Во-первых, во время проектирования, испы-

Таблица. Фактические сроки службы высоковольтного взрывозащищенного электрооборудования, прошедшего экспертизу промышленной безопасности

Наименование показателей	Наименование электрооборудования											
	КРУВ-6				КТП				ВЭД			
Превышение фактических сроков службы над установленными изготовителями	1,9	2,2	2,6	3,7	1,9	2,2	2,6	3,7	1,9	2,2	2,6	3,7
Число единиц РВЗЭО	66	26	21	19	57	27	16	14	21	7	6	4
Фактический срок службы, лет	28,5	33,0	39,0	55,5	28,5	33,0	39,0	55,5	28,5	33,0	39,0	55,5
Средний фактический срок службы	$t_{cp1} = 35,0$				$t_{cp2} = 32,55$				$t_{cp3} = 33,8$			

таний и изготовления в конструкции РВЗЭО были заложены большие запасы механической и электрической прочности, существенно превысившие ожидаемые и прогнозируемые сроки службы. Во-вторых, исправному содержанию средств взрывозащиты способствует действующая на шахтах система периодической проверки состояния средств взрывозащиты в соответствии с «Инструкцией по осмотру и ревизии рудничного взрывозащищенного электрооборудования». Отметим также тот факт, что ни сейчас, ни на момент проектирования РВЗЭО не существовало и не существует методики расчетного определения сроков службы РВЗЭО и в том числе до капитального ремонта.

Поскольку фактические сроки службы РВЗЭО известны из статистических данных, то на их основе возможно построить математическую модель расходования ресурса любого изделия, в том числе и РВЗЭО. По отношению к РВЗЭО будем рассматривать ресурс безопасности при условии, что оно спроектировано, испытано и изготовлено в соответствии с действующими нормативными документами.

Исходим из положения о том, что скорость расходования ресурса безопасности в каждый момент времени прямо пропорционально среднему его значению.

Ставим задачу определить, какая часть ресурса безопасности (РБ) будет израсходована через 15 лет (установлено изготовителем) эксплуатации изделия, если известно, что средний фактический срок службы однотипных изделий существенно превышает установленный изготовителем.

Скорость расходования РБ измеряется его количеством, израсходованным в единицу времени. За малый промежуток времени Δt , истекший с некоторого времени t , количество израсходованного РБ равно $kR\Delta t$, где R – РБ в данный момент времени; k – коэффициент пропорциональности. Это количество, взятое с отрицательным знаком (ресурс убывает) равно приращению за время Δt :

$$\Delta R = -kR\Delta t \quad (1)$$

Обе части равенства (1) разделим на Δt и переходим к пределу

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta R}{\Delta t} \equiv \frac{dR}{dt} = -kR \quad (2)$$

Соотношение (1) представляет дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными.

Разделяем переменные, получим:

$$\frac{dR}{R} = -kdt \quad (3)$$

Интегрируя уравнение (3), найдем:

$$\ln R = -kt + \ln C \quad (4)$$

или после потенцирования

$$R = C \exp(-kt) \quad (5)$$

Постоянную C находим из начального условия

$R = R_0$ при $t = 0$ (где R_0 – ресурс безопасности в начальный момент $t = 0$ после изготовления и ввода в эксплуатацию).

Получим $R_0 = C \exp(-kt)$. Откуда $C = R_0$.

Уравнение (5) можно переписать следующим образом:

$$\frac{R}{a} = R_0 \exp(-kt_{cp}) \quad (6)$$

где $a = \frac{t_{cp}}{t_y}$, t_{cp} – средний фактический срок

службы, лет; t_y – срок службы, установленный изготовителями.

Значения коэффициентов a составляют (с использованием таблицы):

- для комплектных распределительных устройств КРУВ-6 – $a_1 = 35/15 = 2.33$;

- для комплектных трансформаторных подстанций – $a_2 = 32.55/15 = 2.17$;

- для высоковольтных электродвигателей – $a_3 = 33.8/15 = 2.25$.

Искомая функция имеет вид:

$$R(t) = R_0 \exp(-k_i t) \quad (7)$$

где k_i – коэффициент для i -го вида РВЗЭО; t – установленный изготовителем срок службы i -го вида РВЗЭО.

Значение коэффициента k_i получим из дополнительного условия – фактический срок службы i -го вида РВЗЭО составляет t_{cpi} лет.

Из уравнения (6)

$$k_i t_{cpi} = -\ln a \Rightarrow k_i = \frac{\ln a}{t_{cpi}} \quad (8)$$

Из уравнения (8):

- для комплектных распределительных устройств $k_1 t_{cp1} = -\ln 2.33 \Rightarrow k_1 = 0.024$;

- для комплектных трансформаторных подстанций $k_2 t_{cp2} = -\ln 2.17 \Rightarrow k_2 = 0.0238$;

- для высоковольтных электродвигателей $k_3 t_{cp3} = -\ln 2.25 \Rightarrow k_3 = 0.024$.

Расчеты по формуле (7) с использованием приведенных выше коэффициентов k_i и $t = 15$ лет дает следующие результаты:

- для комплектных распределительных устройств $R_1(15) = R_0 \exp(-0.024 \cdot 15) =$

$$= 0.697 R_0 \approx 0.7 R_0 ;$$

- для комплектных трансформаторных подстанций $R_2(15) = R_0 \exp(-0.0238 \cdot 15) =$

$$= 0.699 R_0 \approx 0.7 R_0 ;$$

- для высоковольтных электродвигателей $R_3(15) = R_0 \exp(-0.024 \cdot 15) =$

$$= 0.697 R_0 \approx 0.7 R_0 .$$

Эти расчеты показывают, что высоковольтное РВЗЭО за установленный изготовителями срок

службы 15 лет вырабатывает 70 % фактического ресурса, а 30 % остаются неизрасходованными. Срок службы до полного израсходования ресурса определяется обратным расчетом.

Поскольку установленный изготовителями срок службы РВЗЭО до капитального ремонта не имеет под собой технического и методического обоснования, то правомерным является вопрос об обоснованности этого показателя. Выскажем по этому вопросу свою точку зрения. Известно, что при плановой экономике в бывшем СССР расчет экономической эффективности применения любого изделия производился по методу срока окупаемости T_{OK} . Его обратная величина есть коэффициент эффективности капитальных вложений r_n , то есть $T_{OK} = 1 / r_n$. Коэффициенты эффективности капитальных вложений были установлены разны-

ми для разных отраслей народного хозяйства. Для угольной промышленности он составлял 0,066, то есть $T_{OK} = 15$ лет.

В Постановление Правительства РФ от 01.01.2002 № 1 «Классификация основных средств, включаемых в амортизационные группы» вместо срока службы введено новое понятие «срок полезного использования» на основе разделения всех основных средств на десять классификационных групп. Это Постановление принято в целях выполнения ст. 258 Налогового кодекса РФ, т.е. в целях бухгалтерского учета (для начисления амортизации).

Срок службы до капитального ремонта целесообразно устанавливать по израсходованию полного ресурса безопасности РВЗЭО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разгильдеев, Г.И. О задачах исследования по продлению сроков безопасной эксплуатации взрывозащищенного электрооборудования / Г.И. Разгильдеев, И.О. Шалаев // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2009, № 4. С. 78-80.
2. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 № 116-ФЗ
3. «Порядок продления срока безопасной эксплуатации технических устройств, оборудования и сооружений на опасных производственных объектах» (утвержден приказом Минприроды России от 30.06.2009 г. № 195, зарегистрирован в Минюсте РФ 28.09.2009 г. № 14894).
4. «Положение о проведении экспертизы промышленной безопасности в угольной промышленности» (РД 05-432-02).
5. Правила проведения экспертизы промышленной безопасности (ПБ 03-246-98).
6. ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения».
7. «Электрооборудование взрывозащищенное. Ремонт» (РД 16.407-2000).

□ Авторы статьи:

Разгильдеев Геннадий Иннокентьевич, докт. техн. наук, профессор КузГТУ

Шалаев
Иван Олегович,
ассистент каф. электроснабжения
горных и промышленных
предприятий КузГТУ,
тел. 8-950-598-1437