

УДК 621.31-213.34

Г.И. Разгильдеев, С.Д. Баранов

## РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВИДА ВЗРЫВОЗАЩИТЫ «ВЗРЫВОНЕПРОНИЦАЕМАЯ ОБОЛОЧКА»

Во взрывоопасных производствах ряда отраслей народного хозяйства (химические и газоперерабатывающие предприятия, при производстве минеральных удобрений и т.п.) и в угольных шахтах, опасных по газу и пыли, применяется взрывозащищенное электрооборудование (ВЗЭО), основу которого составляет вид взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка». К такому электрооборудованию предъявляют требования по взрывоустойчивости и взрывонепроницаемости.

Свойство взрывоустойчивости достигается за счет высокой механической прочности оболочки, а свойство взрывонепроницаемости за счет применения щелевых зазоров, когда отдельные узлы и части, в том числе крышки, соединяют так, чтобы выходящие через зазоры между фланцами частей оболочки продукты взрыва не могли воспламенить окружающую взрывоопасную атмосферу. Оба эти свойства в существенной мере определяются значениями разделяемых при взрыве в оболочке давления и температуры.

Стремление обеспечить высокую механическую прочность оболочки и взрывонепроницаемость приводят к тому, что трудоемкость изготовления ВЗЭО 3,5 – 4 раза, а материалоемкость в 2,7 – 3 раза превышают соответствующие показатели электрооборудования в общепромышленном исполнении. Соответственно возрастает и его стоимость.

Поэтому понятны усилия, направленные на поиск путей снижения этих показателей. Снизить их возможно за счет уменьшения давления воспламенившейся взрывоопасной смеси, которое определяют по известной формуле:

$$P = \frac{(P_0 T_e m)}{(T_0 n)}, \quad (1)$$

где  $P_0$  – исходное давление внутри оболочки до момента поджигания;  $T_e$  – температура во фронте пламени, К;  $T_0$  – исходная температура смеси, К;  $m$  – число молекул в оболочке после сгорания смеси;  $n$  – число молекул до ее воспламенения.

Формула справедлива при условии, что горение начинается в центре сферической оболочки и продолжается до тех пор, пока фронт пламени не коснется ее стенок. При горении взрывоопасной смеси в воздухе, где на инертную компоненту – азот приходится около 79% от общего числа молекул, участвующих в процессе, отношение  $m/n \approx 1$ , и формула упрощается, а давление определяется только отношением температур до воспламенения и по окончании горения.

Расчеты, выполненные по формуле (1), дают широкий разброс значений давления, поскольку не учитывают изменения температуры внутри оболочки за счет адиабатического сжатия. Это приводит к тому, что у специалистов нет общего мнения на этот счет.

Так, В. Иост [1] оценивает превышение температуры продуктов сгорания над температурой горения смеси в 900 °C; Б. Льюис и Г. Эльба [2] более чем в 700 °C; А.И. Розловский [3] – 690 °C; Я.Б. Зельдович и др. [4] – 800 °C. Такой разброс в превышении температур вполне понятен, т.к. допущения, принятые при учете процессов сгорания, различны.

Воспользовавшись методикой [4], покажем, какую погрешность имеет расчет давления по формуле (1) по сравне-

нию с методикой, учитывающей термодинамические особенности процесса горения в замкнутом объеме с допущениями, что теплоемкости при постоянном объеме  $C_V$  и постоянном давлении  $C_p$  в процессе сгорания не изменяются. Предположим, что  $T_0 = 300K$ ;  $C_V = 5$  кал/(моль град);  $C_p = 7$  кал/(моль град);  $Q$  – тепловой эффект реакции;  $a_o$  – концентрация горючего вещества) составляет 14000 ккал/моль. Температура горения при постоянном давлении

$$T_{ep} = T_e = T_0 + \frac{Q a_o}{C_p} = 2300K \quad . \quad (2)$$

Избыточное давление при такой температуре составит  $2300/300 \approx 7,67$  от исходного.

Температура горения при постоянном объеме

$$T_{ev} = T_0 + \frac{Q a_o}{C_v} = 3100K, \quad (3)$$

а избыточное давление будет  $3100 / 300 \sim 10.33$  от исходного.

Таким образом, температура с учетом адиабатического сжатия на 800° выше температуры фронта пламени, а давление на 35 % выше, чем полученное по формуле (1).

Необходимо отметить, что  $T_{ev}$  – среднее значение температуры за период сгорания. В каждой точке сферического объема температура будет разной. Самая высокая температура при центральном поджигании наблюдается в центре оболочки, т.к. там в течение всего процесса горения имеют место адиабатическое сжатие. Наиболее низкая температура будет у стенок оболочки, но и она будет несколько выше  $T_{ep}$ , если не учитывать теплопотоки в стенки оболочки на момент окончания горения.

В реальных взрывонепрони-

цаемых оболочках температуры продуктов сгорания и давления будут несколько ниже, чем температура и давление в сферической бомбе, что объясняется большой внутренней поверхностью блоков и узлов внутри оболочки, формой оболочки и дросселированием газа через щелевые зазоры, а также скоростью горения смеси.

Экспериментально установлено [5], что при зазорах между фланцами в оболочки 0,2 мм и 0,5 мм перепад избыточного давления составляет 0,43 МПа и 0,2 МПа, соответственно. Характер изменения максимальной температуры на входе в зазор между фланцами в близких условиях проведения экспериментов составил 1876 °С и 1630 °С [6].

Следовательно, перепад температуры при изменении давления на 0,23 МПа составляет 246 °С. В работе [6] зарегистрированы колебания температуры продуктов взрыва на входе в зазор между фланцами, что свидетельствует о неравномерном распределении температуры продуктов сгорания внутри оболочки. Скорость истечения продуктов сгорания через зазоры между фланцами в этих условиях оценивалась в 75÷100 м/с. При этом распределение температуры по длине фланцевого зазора носит экспоненциальный характер и снижается тем быстрее, чем меньше величина этого зазора.

В [7] нами было предложено в качестве одной из мер повышения безопасностных свойств взрывозащищенного электрооборудования вообще и электродвигателей в частности свести свободный объем оболочек до щелевых объемов. В асинхрон-

ных электродвигателях, например, этот объем определяется зазором (щелью) между расточкой пакета статора и наружным диаметром ротора и между торцом ротора и подшипниковым щитом. Для некоторых типов ВЗЭО эти щелевые объемы могут быть больше, чем допустимый зазор между фланцами оболочки или БЭМЗ (безопасный экспериментальный максимальный зазор).

В замкнутом объеме щелевой формы процесс горения взрывоопасной смеси носит иной характер, чем в замкнутом объеме сферической формы.

Прежде всего необходимо отметить, что при определенном значении щелевого зазора, распространение пламени вообще невозможно [2]. Такие зазоры носят название *критических*. Так, для метана критический зазор составляет 2 мм. При увеличении зазоров больше критического значения, горение происходит при небольшом избыточном давлении, которое возрастает с увеличением зазора почти линейно до определенного его значения. Снижение давления в распределенных объемах щелевой формы объясняется значительными потерями тепла в стенки камеры в отличии от сосредоточенных объемов, где теплоотдача наблюдается только после касания фронта пламени стенок камеры. Зависимость давления от значения щелевого зазора для метано-воздушных смесей можно представить в виде:

$$P = P_o + A(\Delta - W_{kp}) \quad (4)$$

при  $\Delta > W_{kp}$ . Здесь  $\Delta$  – величина щелевого зазора;  $W_{kp}$  – критический зазор;  $A$  – коэффициент, зависящий от скорости

распространения пламени.

Обработка осциллограмм показала, что при центральном поджигании в герметичной камере щелевого типа характер развития давления во времени можно описать параболической зависимостью

$$P = a_o t^2 + b_o t + P_o, \quad (5)$$

где  $a_o$  и  $b_o$  – коэффициенты, зависящие от физико-химических свойств смеси и геометрических размеров камеры. Так, для 10%-ой метано-воздушной смеси и размеров камеры  $D$  (диаметр) = 0,21 м,  $H$  (высота) = 7·10<sup>-3</sup> м коэффициенты составят:  $a_o=52,4$  МПа/с<sup>2</sup>;  $b_o=0,719$  МПа/с<sup>2</sup>.

Необходимо отметить, что в сферической камере характер развития давления описывается кубическим уравнением.

При наличии дросселирования в камере с рассредоточенным объемом давление будет еще ниже, а скорость истечения продуктов сгорания составит несколько метров в секунду. Это будет способствовать более интенсивному охлаждению истекающих продуктов сгорания и позволит снизить массогабаритные показатели взрывонепроницаемой оболочки. Кроме этого, появляется возможность увеличить значение взрывонепроницаемого зазора во фланцевых соединениях оболочки. Особенно это важно при изготовлении взрывозащищенного электрооборудования для сред ПС, т.к. при сосредоточенных объемах в данном случае необходимо иметь величину зазора 0,1 мм на значительной длине, что технологически сложно и дорого.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иост В. Взрывы и горение в газах. - М.: Издатнлит, 1952.
2. Льюис Б., Эльбе Г. Горение, пламя и взрывы в газах. - М.: Мир, 1968.
3. Зельдович Я.Б., Баренблatt Г.И., Либрович В.Б., Махвиладзе Г.М. Математическая теория горения и взрыва. - М.: Наука, 1980, 478 с.
4. Розловский А.И. Основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами. 2-е изд., перераб. - М.: Химия, 1980, 376 с.

5. Ихно А.Г. Научные основы конструирования и испытания взрывобезопасных оболочек рудничного электрооборудования. Вопросы горной механики. Тр. МакНИИ, т.IX, вып. 2. -М. : Углехиздат, 1959, с. 29-71.

6. Каймаков А.А., Бауэр А.Н. О характере снижения температуры продуктов взрыва метано-воздушной смеси в сопряжениях оболочек взрывобезопасного электрооборудования. Сб. Вопросы безопасности в угольных шахтах. Т.7. - М.: Недра, 1966, с. 215-220.

7. Разгильдеев Г.И., Баранов С.Д. Взрывозащищенные рудничные электродвигатели: эксплуатация и ремонт. Справочное пособие. - М.: Недра, 1991, 180 с.

□ Авторы статьи:

Разгильдеев  
Геннадий Иннокентьевич  
-докт. техн. наук, проф.  
каф.электроснабжения горных и  
промышленных предприятий

Баранов  
Сергей Денисович  
- канд. техн. наук, доц.  
каф.электроснабжения горных и  
промышленных предприятий

**УДК 621.34-213.34.019.3**

**Г.И. Разгильдеев, С.Д. Баранов, О.А. Конончук**

## **АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ ВЗРЫВОНЕПРОНИЦАЕМЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВЗРЫВОЗАЩЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

Несмотря на высокие взрывобезопасные свойства взрывонепроницаемой оболочки, опыт ее изготовления, эксплуатации и ремонта свидетельствует о необходимости совершенствования и повышения надежности взрывозащиты, так как в нашей стране и в зарубежной практике имеются отдельные случаи взрывов на предприятиях, причиной которых послужило нарушение взрывонепроницаемости оболочек взрывозащищенного электрооборудования. Эти нарушения возможны как при изготовлении электрооборудования, так и в процессе его эксплуатации.

Взрывобезопасность, закладываемая при конструировании, подвергается технической экспертизе документации и экспериментальной проверке в испытательных организациях головных образцов. Порядок рассмотрения и согласования технической документации на взрывозащищенное электрооборудование и испытания опытных образцов проводятся по специально разработанным методикам государственных стандартов, что практически исключает ухудшение взрывозащиты на данной стадии.

При производстве взрыво-

защищенного электрооборудования на заводах-изготовителях необходимо строгое соблюдение параметров взрывозащиты, заложенных в технической документации, которое заключается в пооперационном контроле при изготовлении сборочных единиц взрывонепроницаемой оболочки. Довольно часто изготовление сборочных единиц осуществляется на различных участках, цехах или корпусах, откуда производится их транспортировка к месту сборки. При транспортировке возможны механические повреждения поверхности «взрыв», которые не всегда выявляются при сборке.

Для повышения надежности взрывозащиты асинхронных электродвигателей необходимо иметь стабильные гарантированные взрывонепроницаемые зазоры между врачающимися и неподвижными частями машины. На стабильность зазоров влияют жесткость вала, станины, подшипниковых щитов и других элементов конструкции.

На взрывозащитные свойства влияют отклонения от идеальной формы при изготовлении сборочных единиц (несоосность, неконцентричность, неперпендикулярность и др.) в силу тех или иных причин

ведения технологического процесса. В результате влияния перечисленных факторов при сборке возможны нарушения взрывозащиты.

Особое место для сохранения оболочки электрооборудования взрывонепроницаемых свойств занимают правильность монтажа, техническое обслуживание и условия эксплуатации. Наличие агрессивных сред, воды, высокой влажности в условиях эксплуатации приводят к коррозии поверхностей взрывонепроницаемых соединений. В условиях транспортирования и монтажа возможны механические повреждения, приводящие к образованию трещин в отдельных элементах конструкции или вскрытию дефектов сварных соединений.

Исследованиями [1-3] установлено, что при эксплуатации в нормальных и аварийных режимах работы электрооборудования во взрывонепроницаемых оболочках зазоры могут быть больше, чем в изготавливаемом на заводе. Так, при эксплуатации электрооборудования на угольных предприятиях более 40% корпусов и крышек коробок выводов имеет повреждения, нарушающие взрывозащиту. Около 70% имеет задиры на