

ОЦЕНКА ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Ковалев А.П., Нагорный М.К., Джура С.Г., Якимишина В.В.
Донецкий национальный технический университет

Розроблена методика розрахунку вибухобезпеки технологічного об'єкту, за допомогою якої представляється можливим оцінювати рівень вибухобезпеки об'єкту, а також розробляти організаційні і технічні заходи, які дозволять вивести небезпечні відносно вибуху підприємства на нормований рівень з мінімальними витратами.

Актуальность проблемы. Большое количество аварий с тяжелыми последствиями, которые происходят в разных странах, привели к тому, что Организация Объединенных Наций 17 августа 1990 года создала рабочую группу для разработки документа «Конвенция о трансграничном воздействии промышленных аварий», который был принят ООН в 1992 году.

В статье 14 этого документа говорится, что государства, входящие в ЕЭС, по мере необходимости выступают с предложениями о сотрудничестве в области проведения исследований и разработок методов и технологий, способных предотвратить промышленные аварии, обеспечить готовность к ним и ликвидацию их последствий.

Поэтому задачи, связанные с разработкой наиболее точных математических моделей и методик расчетов, с помощью которых представляется возможным прогнозировать наиболее часто встречающиеся аварийные ситуации при эксплуатации технологических объектов, является актуальной научной проблемой не только для Украины, но и для большинства стран мира.

Анализ публикаций и исследований. В СССР существовали нормативные документы [1,2], регламентирующие вероятность возникновения взрывов и пожаров на технологическом объекте. Производственные процессы должны были разрабатываться так, чтобы вероятность возникновения взрывов на любом взрывоопасном участке в течение года не превышала величину $1 \cdot 10^{-6}$. Вероятность

возникновения пожаров в электротехническом и другом единичном изделии не должна превышать величину $1 \cdot 10^{-6}$ в течение года.

Под технологическим объектом понимается промышленное предприятие, на котором при его эксплуатации возможен взрыв, пожар, выброс вредных и опасных для человека и окружающей среды веществ: шахты, химические предприятия, газопроводы, атомные станции, морские суда, склады боеприпасов и т.д.

Специалисты США, Японии и других стран принимают интенсивность появления аварий (катастроф) $H=1 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹ как тот уровень риска, к которому следует стремиться при эксплуатации оборудования технологического объекта. Объясняется этот факт тем, что частота аварий (катастроф) на конкретном технологическом объекте, равная $1 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹ настолько мала, что ради выгоды, получаемой от эксплуатации объекта, общество (люди) готовы пойти на такой риск [3]. В России считается, что частота $1 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹ появления аварий на технологическом объекте является маловероятной величиной [4,5].

В нашем случае величина $1 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹ означает, что из миллиона однотипных технологических объектов, опасных в отношении взрыва, статистически допускается один взрыв в год.

На сегодняшний день ни в одной из отраслей промышленности Украины не существует приемлемых для практического применения методик расчетов, которые позволили бы оценивать уровень взрывобезопасности конкретного технологического объекта. А также научно обосновать необходимые для данного конкретного предприятия организационные и технические мероприятия, выполнение которых позволило бы вывести его на нормируемый отраслевыми документами уровень безопасности с минимальными экономическими затратами, т.е. практически полностью исключить возможность появления взрывов на данном предприятии в течение года: $F(1) \leq 1 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹.

Цель статьи. Предложить методику оценки взрывобезопасности технологического объекта, опасного в отношении взрыва и пожара.

Результаты исследования. Взрыв, который случайно может произойти на технологическом объекте при эксплуатации технологического или электротехнического оборудования – это сложное событие, его можно представить как случайный процесс совпадения в пространстве и времени конечного числа независимых случайных событий, имеющих различную частоту появления и длительность существования.

Взрыв, взятый как одно конкретное событие, предвидеть невозможно. Однако, наблюдение за независимыми событиями, формирующими это катастрофическое явление, позволяет нам получить зависимости, которые можно использовать как для оценки существующего положения дел на предприятии, так и для прогнозирования поведения изучаемого технологического объекта в новых условиях. Это в свою очередь дает возможность руководству предприятия организовать деятельность людей в нужном и наиболее эффективном в точки зрения безопасности направлении.

Под безопасностью будем понимать свойства объекта не допускать ситуаций, опасных для людей и окружающей среды [6]. Безопасность на технологических объектах обеспечивается надежной работой автоматических средств защиты, реагирующих на недопустимое изменение контролируемых параметров (электрического тока, напряжения, температуры, давления, концентрации взрывоопасного газа, скорости проветривания и т.д.).

За надежную работу автоматических средств защиты отвечают фирмы, изготавливающие электрооборудование и поставляющие его на предприятия, а также обслуживающий это оборудование персонал. Следовательно, под обеспечением безопасности технологического объекта будем понимать техническую возможность автоматических средств защиты и обслуживающего персонала не допускать ситуаций, приводящих к взрывам.

Под аварийной ситуацией будем понимать совпадение в пространстве и времени минимального числа случайных независимых событий, имеющих различную частоту появления и длительность существования. Определенная ситуация на технологических объектах может привести к взрыву.

Взрыв на технологическом объекте случится в том случае, если длительности нахождения рассматриваемых независимых случайных событий в опасном состоянии совпадут во времени.

Каждое событие, формирующее взрывоопасную ситуацию, представляется в виде однородного марковского случайного процесса $\xi_k(t)$ с двумя состояниями: 0 – безопасное и 1 – опасное. Каждое состояние характеризуется частотой переходов из безопасного состояния в опасное λ_k и частотой переходов из опасного состояния в безопасное μ_k , где k – число событий, формирующих аварийную ситуацию.

Взрыв на технологическом объекте наступает в момент случайной встречи процессов в состоянии 1, т.е., когда $\xi_1(t) = 1, \xi_2(t) = 1, \dots, \xi_k(t) = 1$.

Поврежденное в результате эксплуатации электрооборудование способно выделять в окружающую среду опасные в отношении взрывов электрические источники энергии (искрение, дугообразование). Такое состояние будем называть опасным состоянием электрооборудования. Выделение в помещении цеха технологического объекта взрывоопасного газа сверх нормативного значения из-за повреждения технологического оборудования или из-за неправильной его эксплуатации будем называть опасным состоянием среды.

Под опасным состоянием средств защиты будем понимать такое их состояние, когда при случайном выходе контролируемых параметров за допустимый уровень, происходит их отказ в срабатывании.

Повреждения автоматических средств защиты относятся к «скрытым отказам», эти отказы обнаруживаются либо с помощью автоматических средств диагностики, либо в результате профилактического осмотра системы отключения выключателя. «Скрытые отказы» характеризуются частотой появления и длительностью нахождения их в необнаруженном отказавшем состоянии (опасное состояние средств защиты).

В ДонНТУ на кафедре ЭПГ на основе однородных марковских случайных процессов с дискретным множеством состояний и непрерывным временем получена матрица интенсивностей переходов P_k , которая позволяет оценить любую взрывоопасную ситуацию для конкретного рассматриваемого технологического объекта.

Каждая аварийная ситуация, которая может привести к взрыву на технологическом объекте, характеризуется следующими показателями: вероятность взрывов в течение года ($t=1$ год), т.е. $F(1)$; средним временем до первого взрыва τ_1 ; дисперсией времени до первого взрыва D_1 . Перечисленные показатели взрывоопасной ситуации можно определить, пользуясь системами уравнений [7].

$$\dot{P}(t) = P(t) \cdot A, \quad (1)$$

$$\tau = N \cdot \xi, \quad (2)$$

$$D = (2N - I)\tau - C, \quad (3)$$

где $\dot{P}(t) = [\dot{P}_i(t)]_{i=1}^{2^k}$ - вектор-строка;

$P(t) = [P_i(t)]_{i=1}^{2^k}$ - вектор-строка;

$A = (P_k - I)$; I - единичная матрица;

$\tau = [\tau_i]_{i=1}^{2^k-1}$ - вектор-столбец;

$N = (I - Q)^{-1}$ - фундаментальная матрица;

Q - получается из матрицы интенсивностей переходов P_k с помощью исключения поглощающего состояния (последней строки и последнего столбца);

ξ - вектор-столбец, у которого все элементы равны 1;

$D = [\sigma_i^2]_{i=1}^{2^k-1}$ - вектор-столбец;

$C = [\tau_i^2]_{i=1}^{2^k-1}$ - вектор-столбец.

Система уравнений (1) решается при начальных условиях: $P_1(0) = 1$, $P_2(0) = P_3(0) = \dots = P_{2^k}(0) = 0$.

В том случае, если при решении системы уравнений (2) и (3) получим

$$\tau_1 \cong \sqrt{D_1}, \quad (4)$$

то функция распределения интервалов времени до первого взрыва от рассматриваемой аварийной ситуации запишем в виде

$$F_1(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\tau_1}\right)\right]. \quad (5)$$

Формула для определения интенсивности появления взрывоопасной ситуации:

$$H_m = \frac{1}{\tau_1}, \quad (6)$$

где m - номер аварийной ситуации, которая приводит к взрыву на рассматриваемом технологическом объекте.

Если для всех полученных аварийных ситуаций обеспечиваться условие (4), то интенсивность взрывов на технологическом объекте

$$H = \sum_{m=1}^{\omega} H_m, \quad (7)$$

где ω - число аварийных ситуаций, характеризующих данный технологический объект.

Вероятность взрывов на технологическом объекте в течение времени t

$$F(t) = 1 - e^{-Ht}. \quad (8)$$

В том случае, если условие (4) не выполняется, то вероятность взрывов от рассматриваемой аварийной ситуации определяется следующим образом:

$$F_1(t) = P_{2^k}(t). \quad (9)$$

Вероятность $P_{2^k}(t)$ находится при решении уравнения (1), которое представим в виде [8]:

$$P(t) = P(0)e^{At}. \quad (10)$$

Если ввести матричный ряд

$$e^{At} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{A^n t^n}{n}, \quad (11)$$

тогда

$$P(t) = P(0) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{A^n t^n}{n}. \quad (12)$$

Вероятность взрыва на технологическом объекте определяется как вероятность пребывания системы в поглощающем состоянии $P_{2^k}(t)$.

Система уравнений (12) решается численным методом с помощью ЭВМ.

Выводы.

1. Предложена методика оценки взрывобезопасности любого технологического объекта, для которого возможно перечислить все взрывоопасные ситуации и установить план наблюдений за событиями, формирующими взрыв на технологическом объекте.

2. Разработанная на кафедре ЭПГ методика оценки взрывобезопасности технологических объектов, опасных в отношении взрывов, позволяет оценивать их уровень взрывобезопасности. Если он окажется больше нормируемого ($F(1) > 1 \cdot 10^{-6}$), то необходимо разрабатывать организационные и технические мероприятия, способные вывести опасные в отношении взрыва предприятия на нормируемый уровень $F(1) \leq 1 \cdot 10^{-6}$ с минимальными затратами. Это позволит практически исключить взрывы на данном предприятии при эксплуатации технологического оборудования.

Литература:

1. ГОСТ 12.1.010-76. Взрывобезопасность. Общие требования. – М.: Издательство стандартов, 1976. – 6 с.
2. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 75 с.
3. Хенли Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1984.- 528 с.
4. Мартынюк В.Ф., Лисанов М.В., Кловач Е.В., Сидоров В.И. Анализ риска и его нормативное обеспечение. Безопасность труда в промышленности, 1995. - №11. – С. 55-58.
5. РД 08-120-96. Методические указания по проведению анализа риска опасных промышленных объектов. Руководящий документ Госгортехнадзора России. – М.: 1996. – 27 с.
6. Надежность систем энергетики. Терминология: Сборник рекомендованных терминов/ АН СССР, комитет научно-технической терминологии. Научный совет по комплексной проблеме энергетики. – М., 1980. – Вып.95. – 44 с.
7. Ковалев А.П. О проблемах оценки безопасности технологических объектов топливно-энергетического комплекса Украины. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Електротехніка і енергетика», випуск 79: Донецьк: ДонНТУ. – 2004. – С. 111-115.
8. Баруча-Рид А.Т. Элементы теории марковских процессов и их приложения. – М.: Наука. – 1969. – 126 с.