

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВПО «МГСУ»**

КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Дисциплина: Производственная и пожарная автоматика

Лекция для дистанционной формы обучения студентов-заочников

Тема: " Автоматические системы взрывозащиты."

Москва 2011

Содержание

1. Особенности управления потенциально опасными технологическими процессами.
2. Принципы построения систем аварийной защиты технологических процессов
3. Методы взрывозащиты.
4. Автоматические системы подавления взрыва .
5. Расчет устройств взрывоподавления.
6. Взрывоподавляющие устройства
7. Область применения автоматических систем локализации и подавления взрывов.

Литература.

1. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» № 123-ФЗ от 22 июля 2008 г.
2. Абросимов А.А., Топольский Н.Г., Фёдоров А.В. Автоматизированные системы пожаровзрывоопасности нефтеперерабатывающих производств. М.: Академия ГПС МВД России, 2000.
3. Водяник В.И. Взрывозащита технологического оборудования. Киев: Техника, 1979.
4. ГОСТ 21.404-85. Автоматизация технологических процессов. Условные обозначения приборов и средств автоматизации в схемах. —М., 1985.
5. Каталог справочник "Каланча". Противопожарное, аварийно - спасательное оборудование. Сергеев Посад 2006.
6. Навацкий А.А., Бабуров В.П., Бабурин В.В., Фомин В.И., Фёдоров А.В. Производственная и пожарная автоматика» Часть I «Производственная автоматика для предупреждения пожаров и взрывов. Пожарная сигнализация» (Учебник) -М .; Академия ГПС МЧС России., 2005 г.,. 335 стр

1. Особенности управления потенциально опасными технологическими процессами

Среди большого числа технологических процессов можно выделить группу пожаро- и взрывоопасных, которые при определённых условиях, возникающих в следствии нарушения требований регламента, выходят в аварийные режимы с последующими взрывами и пожарами. Такие технологические процессы являются пожаро- и взрывоопасными, и могут протекать в двух различных режимах:

I – нормальном функционировании;

II – предаварийном состоянии.

В режиме нормального функционирования технологического процесса различают три состояния (рис. 2.1):

нормальное протекание процесса, когда все определяющие параметры соответствуют заданным (рис. 2.1; 1б);

отклонение определяющих параметров в сторону уменьшения опасности (рис. 2.1; 1а);

отклонение определяющих параметров в сторону увеличения опасности (рис. 2.1; 1в).

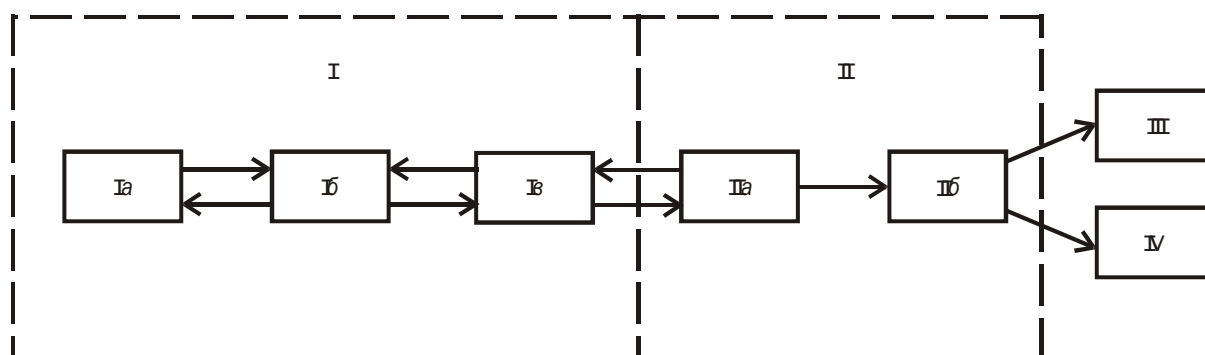


Рис. 2.1. Состояния пожаро- и взрывоопасного технологического процесса:

I – нормальный режим; II – предаварийное состояние;

III – остановка процесса; IV – аварийное состояние

При этом все отклонения в режиме I находятся в заданных пределах, обусловленных необходимой точностью поддержания определяющих параметров. При нарушении технологического режима, процесс переходит в предаварийное состояние (II), характеризующееся значительными

отклонениями параметров от заданных пределов в сторону увеличения опасности. В предаварийном состоянии, характерным для процессов, можно выделить две фазы: в первой фазе (рис.2.1 , IIа) возможен возврат процесса к нормальному режиму, во второй (рис.2. II, IIб) развитие аварийной ситуации становится необратимым. В последнем случае необходимо прекратить ведение процесса (III). Если не принять мер, способствующих прекращению развития аварийной ситуации и возвращению процесса к режиму нормального функционирования или прекращению его, то возникает авария (IV), имеющая различные последствия (загазованность помещения и территории объекта, взрыв, пожар и т.п.). Особенность протекания пожаро- и взрывоопасных технологических процессов предопределяет требования к АСУ таким процессам.

Для обеспечения управления технологическими процессами в предварительном режиме АСУТП должны включать, кроме систем автоматического контроля (АСК), регулирования (АСР), систем сигнализации (АСС), и системы автоматической защиты (АСЗ) (рис.2.2).

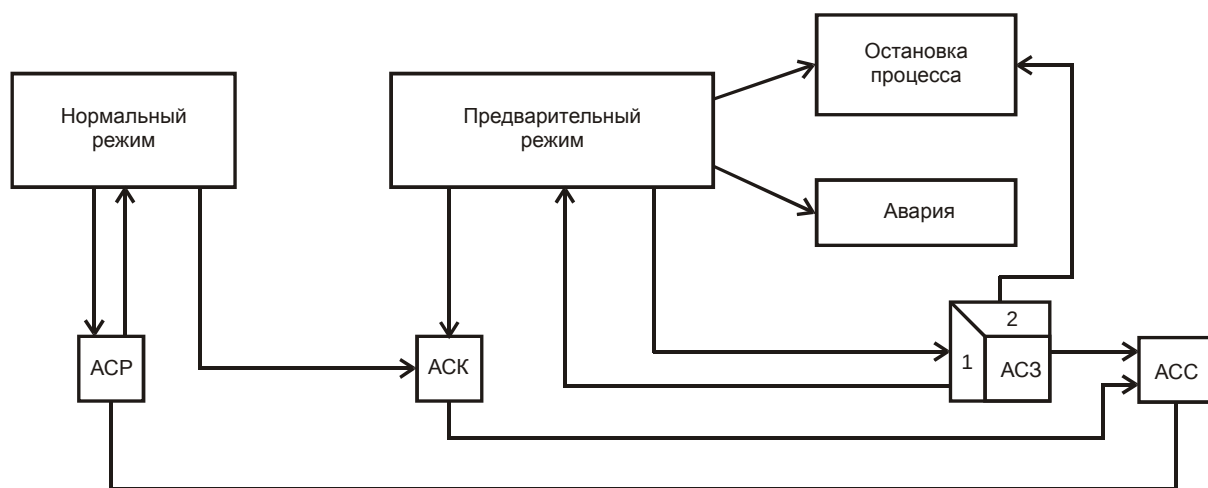


Рис. 2.2. Схема управления потенциально пожаро- и взрывоопасным технологическим процессом:

- АСР – автоматическая система регулирования;
- АСК – автоматика систем контроля;
- АСЗ – автоматическая система защиты;
- АСС – автоматическая система сигнализации;
- 1 – режим работы АСЗ на предотвращение аварии;
- 2 – режим работы АСЗ по ликвидации аварии.

В предварительном режиме, который наступает, когда АСР не может справиться с возвратом процесса к нормальному режиму или вследствие отказа АСР, процесс управляется АСЗ. Она должна обеспечить

безаварийное ведение процесса либо путём его возврата в нормальный режим 1, либо путём его остановки 2. Если входные параметры АСР выбираются, исходя из условий оптимизации производства, то входные параметры АСЗ (параметры защиты) должны характеризовать нахождение объекта в пред –аварийном режиме.

Таким образом, АСУ пожаро- и взрывоопасными технологическими процессами может быть реализована путём создания автономных АСР, АСК, АСС, и АСЗ (см. рис.2.2) или применением автономных АСР, АСЗ и управляющей вычислительной машины (УВМ).

2. Принципы построения систем аварийной защиты технологических процессов.

Системы автоматической аварийной защиты представляют собой совокупность элементов и устройств, с помощью которых контролируются параметры процессов, протекающих в защищаемом объекте, и выдача сигналов в критических ситуациях, и использование их для предотвращения аварий, взрывов и пожаров путём переключения режима работы объекта, остановки оборудования, проведения аварийного стравливания или слива горючего вещества, вызова обслуживающего персонала и выдачи ему необходимой информации о причинах и обстоятельствах возникновения отклонений от нормальной работы.

В функции АСЗ входит анализ предаварийного состояния и степени развития аварийной ситуации, а также выбор управляющих защитных воздействий.

В зависимости от конкретных условий применения АСЗ должны обеспечить:

- возможность обнаружения любых опасных ситуаций в объекте защиты по контролируемой совокупности параметров;

- прекращение хода контролируемого процесса в опасном направлении для любой возможной аварийной ситуации в объекте защиты;

- высокое быстродействие, создающее возможность своевременного выполнения противоаварийных действий;

- высокую чувствительность к контролируемому параметру;

- стабильность характеристик во времени, т.е. сведение к минимуму влияния таких явлений, как старение и утомляемость отдельных элементов;

- минимальное влияние внешних факторов (температуры, влажности, атмосферного давления, ударов, операций, электрических помех и т.п.);

- минимальное обратное влияние на объект защиты при нормальных значениях контролируемого параметра);

безотказность в условиях длительной непрерывной работы (устройства защиты должны обладать более высокой надёжностью, чем объект защиты);

высокую перегрузочную способность;

взаимозаменяемость (повторимость характеристик), обеспечивающую возможность замены вышедших из строя элементов без существенной перестройки системы защиты;

возможность использования стандартных и унифицированных элементов;

взрывонепроницаемость;

удобство и простоту монтажа, настройки и обслуживания;

минимальное потребление энергии в дежурном режиме.

Несмотря на большое разнообразие устройств защиты, применяемых в различных областях техники, они строятся по общим законам и в них почти всегда удаётся выявить следующие основные элементы; ИАС – индикаторы аварийных ситуаций; ИП – измерительные преобразователи; УС – устройства сравнения; УПУ – усилительно-преобразующие устройства; ЛУ – логические устройства; ИМ – исполнительные механизмы; ЗУ – задающие устройства.

3. Методы взрывозащиты

Взрыв горючей среды внутри оборудования и производственных помещений является одной из наиболее опасных для предприятия аварийных ситуаций. Взрывы в производственных помещениях часто являются следствием предшествующих им взрывов в оборудовании. Поэтому взрывозащита технологического оборудования – это одна из главных задач при обеспечения взрывобезопасности производств. Под взрывозащитой технологического оборудования понимается предупреждение его разрушения вследствие воспламенения находящихся в нем пара или пылегазовых смесей.

Для предотвращения возникновения взрыва разработан комплекс конструктивных и профилактических мероприятий, предполагающих, главным образом, 1) исключение возможности образования взрывоопасных смесей, воспламенения горючих газов, пылей и паров горючих жидкостей и 2) снижение уровня опасных концентраций с помощью систем вентиляции, продува и разбавления газовых сред с целью вывода состава смеси за пределы возможного воспламенения. Предусматриваются также меры, не допускающие взрывоопасное исполнение агрегатов, двигателей, электросистем и других технических устройств. В тех случаях, когда указанных мер недостаточно, применяют

способы нейтрализации пожаро- и взрывоопасной среды путем введения нейтральных газов и другие профилактические приемы и методы.

Существуют, однако, такие специфические устройства и такие виды производства, где применение конструктивных и профилактических мер не позволяет полностью исключить опасность возникновения взрыва. Особые условия ведения технологических процессов при вынужденном форсировании их параметров, возможность возникновения взрыва требует применения активных способов взрывозащиты. К таким способам относятся автоматические системы локализации и подавления взрывов, основанные на быстрой регистрации очага воспламенения и последующем воздействии на него огнетушащим веществом. Возможность широкого внедрения таких систем обусловлена большими достижениями отечественной науки в области точной механики и полупроводниковой техники и современной химии, позволяющими создавать высокочувствительные датчики температуры, давления, излучения, а также высокоэффективные ингибиторы и флегматизаторы горения.

Основные принципы, на которых базируются системы автоматической локализации и подавления взрывов, сводятся к отдельному или совместному выполнению комплекса технических мероприятий:

- аварийной разгерметизации технологического оборудования с целью ограничения давления в аппаратах в пределах допустимых значений;

- блокированию аварийного оборудования от смежных технологических аппаратов, обеспечивающему исключение пожара и взрыва в смежных аппаратах;

- активному подавлению взрыва в аппарате путем воздействия огнетушащего вещества на пламя в зоне взрыва.

Системы локализации взрывов предназначены для защиты от разрушения технологического оборудования путем аварийной его разгерметизации, сброса избыточного давления в атмосферу или перепуска технологического продукта в аварийные емкости, отсечения пламени в транспортных коммуникациях, а также блокирования аварийного производственного участка. Структурная схема такой системы приведена на рис. 2.3

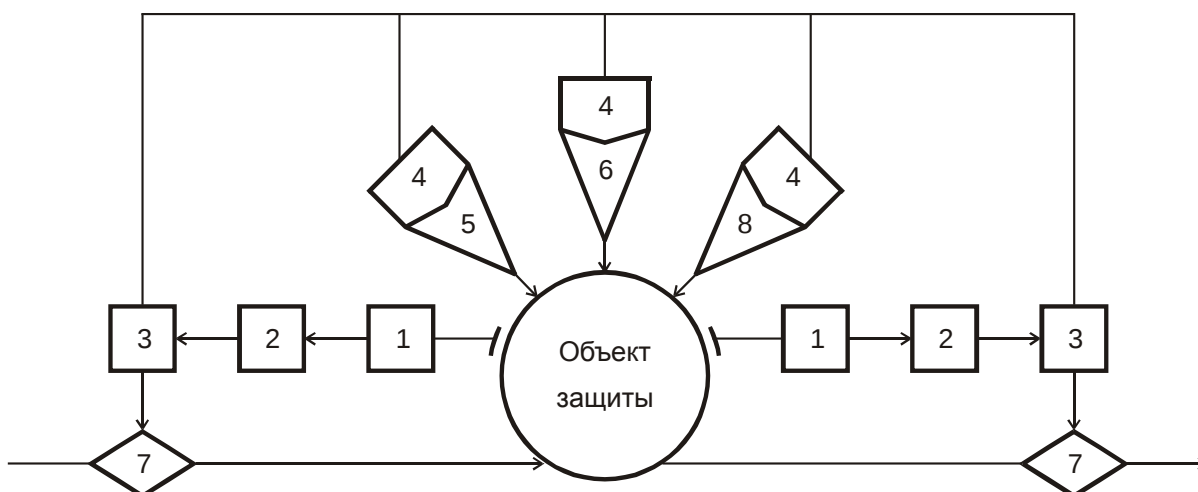


Рис. 2.3. Структурная схема автоматической системы взрывозащиты

Принцип действия системы локализации взрыва заключается в обнаружении аварийного состояния датчиком 1, усилении сигнала усилителем 2 и подачи исполнительным органом 3 управляющего импульса 4 в устройства разгерметизации 5, инертизации 6 и блокирования 7. При наличии совмещенной установки пожаротушения 8 запуск последней осуществляется либо от управляющего импульса, либо дистанционно оператором.

Устройства разгерметизации в системе обеспечивают создание в аппарате проходного сечения для сброса избыточного давления, образующегося при взрыве внутри технологического аппарата. В этом случае давление в аппарате не должно превышать допустимое значение p , при котором происходит его механическое разрушение. Объем газов во внутреннем объеме аппарата V в момент взрыва зависит от объема аппарата V_0 объема газов, образующихся при взрыве ΔV_z , и количества газов, истекающих через разгерметизирующее отверстие:

$$V = V_0 + \Delta V_{\Gamma} - \Delta V_{uct} \quad (1)$$

При горении большинства взрывоопасных смесей в замкнутом объеме скорость перемещения фронта пламени изменяется от максимальной величины $u_{\max} = \varepsilon u$, соответствующей скорости горения в начальный период расширения газа, когда давление в объеме остается практически неизменным до $u_{\min} = u_n$ при сгорании смеси в конце взрыва у стенок сосуда.

Тогда

$$\Delta V_{\Gamma} = \frac{4}{3} \pi v_{\text{н}}^3 \varepsilon^3 \Delta t (\varepsilon - 1), \quad (2)$$

$v_{\text{н}}$ —нормальная скорость горения; t —время, за которое образуется при взрыве в аппарате объем газов V_{Γ} ; ε —степень расширения продуктов горения.

Объем газов, истекающих через разгерметизирующее отверстие в единицу времени, определяется по формуле

$$\frac{\Delta V_{\text{ист}}}{\Delta t} = \varphi F v \geq \frac{\Delta V_{\Gamma}}{\Delta t}, \quad (3)$$

где $V_{\text{ист}}$ —объем газов, истекающих из аппарата за время t ; φ —коэффициент расхода; F —площадь разгерметизирующего отверстия; v —скорость истечения газов.

Расчетная площадь проходного сечения разгерметизирующего отверстия определяется из уравнения (3):

$$F = \frac{\Delta V_{\Gamma}}{\Delta t \varphi v}. \quad (4)$$

Время t принимается равным:

$$\Delta t = t_{p_{\text{max}}} - t_{\text{разг}}, \quad (5)$$

где $t_{p_{\text{max}}}$ —время достижения максимального давления взрыва; $t_{\text{разг}}$ — время с момента инициирования взрыва до разгерметизации аппарата.

На практике при расчете площади разгерметизирующего отверстия в формулу (5) вводится поправочный коэффициент запаса

$$f = kF, \quad (6)$$

где f —площадь разгерметизирующего отверстия; k —коэффициент запаса, ориентировочно равный 1,5-4.

Устройства разгерметизации по принципу действия подразделяются на пассивные (неуправляемые) и активные (управляемые). К устройствам пассивной разгерметизации относятся предохранительные клапаны, мембраны и разрывные втулки.

Предохранительные клапаны являются устройствами многократного действия и при срабатывании не разрушаются.

Предохранительные мембраны при срабатывании разрушаются при повышении давления в аппарате на заданную по условиям безопасности величину. В зависимости от условий работы технологического оборудования предпочтительны следующие отношения давления разрушения предохранительных мембран к рабочему давлению:

к постоянному рабочему давлению	1,5;
к слабо пульсирующему рабочему давлению	1,75;
к сильно пульсирующему рабочему давлению	2,0.

Площадь предохранительных мембран на практике определяется по формуле

$$F=cV_0,$$

где c —коэффициент проемистости (удельная площадь рабочего сечения), $\text{м}^2/\text{м}^3$; V_0 —объем защищаемого аппарата.

материал предохранительных мембран заданного диаметра выбирается с учетом усредненных минимальных разрывных давлений.

В случаях, когда взрывной процесс протекает с высокой скоростью, необходимо разгерметизировать оборудование в начальный момент взрыва. Для этой цели используют устройства активной разгерметизации: клапаны с электро— или пиропроводом и управляемые мембраны.

Блокирование аварийного технологического аппарата или производственного участка производится с целью исключения распространения пожара или взрыва по коммуникациям и вентиляционным каналам. Предотвратить распространение пламени по технологическим коммуникациям можно с использованием быстродействующих отсекающих устройств—пламеотсекателей. Общепромышленная запорная трубопроводная арматура с пневмо— и электроприводом для этих целей не пригодна из-за присущей ей инерционности. Для взрывозащиты технологического оборудования используются пламеотсекатели с электрическим, пневматическим, гидравлическим и пиротехническим приводами. Разработанные устройства решают задачу механического преграждения распространения пламени, а в ряде случаев обеспечивают одновременную подачу огнетушащего вещества.

В нашей стране применяются быстродействующие поворотные клапаны с приводом от энергии падающего груза.

Клапаны являются полуавтоматическими запорными устройствами, предназначенными для герметичного перекрытия газопроводов диаметром 200, 300, 400 и 500мм.

Наиболее высоким быстродействием обладают отсекатели с пироприводом.

Для блокирования распространения пламени по трубопроводам и пневмотранспорту используются различные модификации пламеотсекателей-гидрозатворов.

Эффективность работы отсекателей определяется их быстродействием и местом расположения датчиков пламени. При этом должно выполняться соотношение

$$t < L/v, \quad (7)$$

где t —полное время срабатывания отсекателя от момента обнаружения пламени датчиком до полного перекрытия трубопровода; L —расстояние от датчика пламени до отсекателя; v —скорость распространения пламени.

В качестве устройств блокирования могут использоваться также в зависимости от условий технологического режима различные типы огнепреградителей, воздушно–водяные и водопенные завесы.

4. Автоматические системы подавления взрыва

Автоматические системы подавления взрыва (АСПВ) предназначены для обнаружения, локализации и полного подавления взрыва в технологических аппаратах и производственных помещениях в начальной стадии процесса, не представляющей опасности для оборудования и людей, находящихся внутри помещения, где произошло воспламенение горючих газопаровоздушных или пылевоздушных смесей.

Отличием метода защиты с помощью автоматических систем подавления взрыва от систем профилактического типа является то, что указанная система допускает воспламенение взрывоопасной смеси и включается в начальный момент развития процесса для ликвидации аварийной ситуации. Выбор параметров срабатывания автоматической системы подавления взрыва существенно зависит от времени безопасного развития взрыва конкретных взрывоопасных смесей.

Основными параметрами взрыва, которые учитываются при выборе методов и способов взрывозащиты, являются давление и температура взрыва, скорость нарастания давления, скорость распространения пламени, "инкубационный" безопасный период развития взрыва, концентрационные пределы различных добавок и разбавителей. Конечное давление при взрывах в замкнутых объемах зависит от физико–химических свойств горючих смесей и концентрации горючего вещества. Его можно определить по уравнению

$$P_K = P_0 \frac{T_K m}{T_0 n} \quad (8)$$

где p_K , T_K —давление и температура взрыва в замкнутом объеме соответственно; p_0 , T_0 —начальное давление и температура горючей смеси соответственно; m , n —число молей газа до и после взрыва соответственно.

Так как для большинства газов отношения $m/n \approx 1$, то конечное давление $P_{\text{взр.к}}$ примерно прямо пропорционально начальному давлению, умноженному на отношение абсолютной температуры продуктов горения T_K к начальной температуре смеси T_0 :

$$P_{\text{взр.к}} = P_0 \frac{T_K}{T_0} = 8p_0 \quad (9)$$

Окислительные реакции, приводящие к взрыву, протекают не мгновенно, а за некоторый промежуток времени. Скорость нарастания давления зависит прежде всего от физико–химических свойств горючих материалов, объема, конструкции и плотности заполнения аппарата. Для твердых и жидких композиций скорость нарастания давления и конечное давление определяются степенью заполнения аппарата:

$$k = V/V_0, \quad (10)$$

где V —объем горючего вещества; V_0 —объем аппарата.

Чем больше k , тем больше скорость нарастания давления, меньше время развития взрыва и выше конечное давление. Для парогазовых смесей скорость изменения давления в сферических сосудах и аппаратах определяется дифференциальным уравнением:

$$\frac{dp}{dt} = p_0 \left(\frac{m}{n} \frac{T_K}{T_0} - 1 \right) \frac{d\alpha}{dt} \quad (11)$$

где p_0 —начальное давление горючей смеси; m, n —число молей газа до и после взрыва соответственно; $d\alpha/dt$ —скорость превращения (сгорания) исходной смеси.

Скорость превращения исходной смеси находят по отношению доли горючего, сгорающего в единицу времени, к массе исходной смеси:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{\rho F v_n}{\rho V_0} \quad (12)$$

где F —площадь поверхности пламени; v_n —нормальная скорость распространения пламени; V_0 —объем сосуда; ρ —плотность продуктов горения и исходной смеси соответственно.

Взаимосвязь между объемом аппарата (радиуса R_0), начальным p_0 и конечным p_k давлением, а также текущими значениями давления p и размерами пламени R определяется из выражения

$$\frac{R}{R_0} = \left[1 - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \left(\frac{p_k - p}{p_k - p_0} \right) \right]^{\frac{1}{3}} \quad (13)$$

где $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ —соотношение удельных теплоемкостей исходной смеси при постоянном давлении и постоянном объеме.

Давлений p_k , p_0 и p могут быть измерены экспериментально, а скорость развития взрыва рассчитана по уравнению (13).

Инкубационный период развития взрыва, который зависит от допустимого давления взрыва, задаваемого по соображениям конструктивной прочности сосуда $p_{взр.доп}$, начального давления среды p_0 и объема резервуара V_0 , можно определить по формуле

$$\tau_{инк} = 0,2 \sqrt{V_0 \frac{P_{взр.доп} - P_0}{P_{взр.доп}}} \quad (14)$$

Приняв $p_0=1$ и задавшись несколькими значениями $p_{взр.доп}$ и V_0 , определим минимальные числовые значения $\tau_{инк}$ для различных случаев (табл.1).

Таблица 1

Объем сосуда $V_0, \text{м}^3$	$\tau_{инк}, \text{мс, при } p_{взр.доп}, \text{Па}$				
	$1.2 \cdot 10^5$	$1.4 \cdot 10^5$	$1.6 \cdot 10^5$	$1.8 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$
0.5	88	105	116	123	127
1.0	111	133	144	153	160
5.0	190	228	246	262	274
10.0	239	286	310	330	344

25.0	239	286	310	330	344
50.0	314	388	420	447	467
100.0	408	490	530	564	590

Из табл.1 видно, что минимальный инкубационный период развития взрыва в указанном диапазоне изменения параметров составляет 90 мс, т.е. 0,1 с для парогазовоздушных смесей. (Для емкостей это порядка 500 л.)

Для резервуаров больших размеров это время возрастает пропорционально корню кубическому из объема. Время безопасного развития больше 200-350 мс (миллисекунд) не имеет особого смысла, так как к этому времени завершается взрывозащитное, взрывоподавляющее действие АСПВ, практически в любом достижимом объеме.

Основное требование, которому должны соответствовать АСПВ, для обеспечения их максимальной эффективности, –быстродействие, т.е. если полное действие системы – $\tau_{\text{сист}}$, а время инкубационного (безопасного) развития взрыва – $\tau_{\text{инк}}$, то условие эффективности записывается следующим образом:

$$\tau_{\text{сист}} \leq \tau_{\text{инк}} \quad (15)$$

Полное время срабатывания системы складывается из времени срабатывания датчика, времени преобразования первичных импульсов в усиленный командный сигнал, времени срабатывания пиротехнического устройства, порохового аккумулятора, времени истечения ингибитора, времени полета, испарения и перемещения ингибитора с взрывоопасной средой и собственно времени, идущего на подавление и гашение пламени взрыва. Для малых объемов баков, ($R_{\text{max}} < 1$ м) $n \leq 50$ мс (R_{max} – максимальный радиус полета струи ингибитора или наибольший размер защищаемого сосуда). Для уменьшения времени срабатывания АСПВ датчики обнаружения взрыва создаются на чувствительных элементах, реагирующих на световое излучение. Время срабатывания чувствительных элементов излучения, как правило, находится во временном интервале 10^{-4} – 10^{-5} с при большой их чувствительности. Выявлено, что пламя имеет полосатый спектр излучения и что энергия излучения в спектре распределена по длинам волн от УФ до ИК области, и это обстоятельство должно учитываться при проектировании датчиков АСПВ.

При выборе чувствительных элементов датчиков необходимо также учитывать условия применения АСПВ, особенности защищаемых объектов и вид горючей смеси. Для пылегазовых смесей важно учесть возможное снижение интенсивности светового потока. В темных или слабо освещенных помещениях датчики могут быть изготовлены на фоторезисторах или фотодиодах. Для помещений с ограниченными источниками освещения могут быть использованы фотоумножители с набором светофильтров, а в помещениях с интенсивным освещением,

дневным или искусственным светом целесообразно использовать фотоумножители с высокочувствительными элементами.

5. Расчет устройств взрывоподавления

Огнетушащее средство для использования в АСПВ выбирается в зависимости от условий технологического процесса и физико–химических свойств обращающихся веществ с учетом его эффективности. Экономически целесообразным считается использование для взрывозащиты следующих галоидоуглеводородов:

Наиболее эффективны фторбромсодержащие углеводороды. Значительно эффективнее действие комбинированных огнетушащих веществ, так как совместное их действие, например, галоидоуглеводородов с двуокисью углерода, азотом в большей степени оказывает ингибирующее воздействие.

Наиболее целесообразным является применение в АСПВ сжиженных хладонов, так как скорость их испарения существенно больше скорости испарения жидких хладонов, что обеспечивает создание за меньшее время равномерной объемной концентрации огнетушащего средства в защищаемом объекте. В АСПВ широко используются для подавления взрывов

газо-, паропылевоздушных смесей порошковые составы на основе солей щелочных металлов (бикарбоната и карбоната натрия и калия), аммонистых солей фосфорной кислоты, а также солей серной, борной и щавелевой кислот. Преимуществом этих веществ является универсальность применения для подавления горения различных горючих сред, высокая эффективность, отсутствие токсичности. Для доставки огнетушащего средства в зону горения используется устройство взрывоподавителя. Рассматриваемая ниже методика расчета взрывоподавителя применительно к использованию в качестве огнетушащего средства жидкого ингибитора.

Расчет и проектирование устройства взрывоподавителя складывается, в основном, из расчета потребной емкости взрывоподавителя (потребного количества огнетушащего вещества), расчета оптимальных параметров энергопобудителя и расчета профиля распылительной головки (закон распределения распылительных отверстий в зависимости от объема и формы защищаемого пространства).

Расчет потребного количества ингибитора для сосудов и резервуаров малых и средних объемов (от 0,5 до 10м³) ориентировочно можно производить по формуле

$$G_{инг} = K_1 K_2 K_3 K_4 \alpha_{лаб} V_0 \quad (16)$$

где K_1 —коэффициент, учитывающий несоответствие формы факела распыла геометрической форме сосуда; K_2 —коэффициент учета локальной неравномерности распределения состава по объему в околоструйном пространстве; K_3 —коэффициент, учитывающий степень неполноты испарения ингибитора (если степень полноты испарения ингибитора ω , то $K_3=1/\omega$; K_4 —коэффициент запасам надежности; $\alpha_{\text{лаб}}$ —лабораторные значения гасящей концентрации ингибитора по отношению к данному горючему; V_0 —объем защищаемого резервуара.

Численные значения коэффициентов K_1 – K_4 лежат в пределах от 1 до 1,5 и выбираются в зависимости от конкретных условий применения проектируемой системы: от сложности геометрической формы и линейных размеров защищаемого резервуара, теплового режима системы и физических параметров ингибитора, степени важности объекта и других тактико–технических эксплуатационных особенностей защищаемого объекта.

Для наиболее эффективного, химически активного ингибитора большинства углеводородно–воздушных пламен – тетрафтордибромэтана $\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$ (хладона 114В2)—значение коэффициента равно $\alpha_{\text{лаб}}=500$ мг/л (или $0,5$ кг/м³).

Тогда количество ингибитора определяем по формуле

$$G_{\text{инг}} \approx (1 \div 5) \cdot 0,5 \quad V_0 \approx (0,5 \div 2,5) V_0; \quad (17)$$

$$V_{\text{под}} \approx (0,2 \div 1,1) V_0, \quad (18)$$

т.е.

$$V_{\text{под}} = \frac{G_{\text{инг}}}{\gamma_{\text{инг}}} = \frac{(0,5 - 2,5)}{2,18} V_0$$

(19)

где $V_{\text{под}}$ —объем подавителя; $\gamma_{\text{инг}}$ —удельный вес ингибитора $2,18$ г/см³; V_0 —объем защищаемого резервуара, м³.

С учетом реальных значений для защищаемых объемов в пределах от $0,5$ до 10 м³ емкость взрывоподавителя лежит в пределах от $0,5$ до 10 – 12 (чем больше защищаемый объем, тем сложнее процесс подавления взрыва, так как сложнее задача равномерного распределения состава, тем выше, соответственно, следует брать значения коэффициентов K_1 , особенно K_1 , K_2 , и K_4).

Для объемов больше 5 – 10 м³ (когда наибольший линейный размер от места установки подавителя до наиболее удаленной точки воспламенения защищаемого резервуара больше $1,5$ – 2 м) расчет потребного количества огнетушащего средства также можно вести по рассмотренной методике. Однако по конструктивным соображениям целесообразно потребное количество ингибитора распределить в несколько (двух–четырех)

впрыскивающих устройствах (в зависимости от геометрической формы и конфигурации защищаемого резервуара).

Для больших объемов сосудов, бункеров и резервуаров порядка 20-25 м³ и более, когда максимальный линейный размер защищаемого пространства превышает 3-3,5 м от точки установки взрывоподавителя, целесообразно в комплекте системы взрывоподавления применять несколько регистраторов и несколько взрывоподавителей, так как гидродинамический режим работы взрывоподавителей большой емкости ($V_{\text{под}} > 5 \div 10 \text{ л}$), потребный для защиты таких больших помещений, до настоящего времени исследован недостаточно.

Внешнебаллистический расчет системы распыла взрывоподавляющего устройства и проектирование системы впрыска и распыла ингибитора ведутся исходя из следующих соображений:

система впрыска ингибитора должна вызывать минимальные возмущения и перемещения исходной парогазотопливовоздушной среды;

форма факела распыла должна быть геометрически подобна форме защищаемого резервуара (или наиболее близка к ней);

поток массы ингибитора должен по возможности достигать всех зон защищаемого пространства;

время впрыска ингибитора и полета струй должно быть минимальным, т.е. скорость истечения и полета свободной струи должна быть максимальной;

степень равномерности распределения ингибитора по всему защищаемому объему должна быть наибольшей, а локальная концентрация паров ингибитора в любой точке защищаемого пространства должна быть выше гасящей, т.е. более 500 мг/л (для хладона 114В2).

Характерные соотношения конструктивных размеров взрывоподавителя принимаются по соображениям, обеспечивающим наибольшую надежность и эффективность системы. Соотношение длины цилиндрической части к диаметру выбирается в пределах 6-9.

Для максимального снижения местных гидравлических сопротивлений (и соответствующего снижения внутреннего давления в системе впрыска) суммарная площадь отверстий выбирается по возможности равной площади поперечного сечения резервуара с ингибитором:

$$\frac{\sum_i^n S_{\text{отв}}}{S_{\text{нон}}} \approx 1 \quad (20)$$

Для получения равномерного распределения ингибитора по защищаемому объему количество распылительных отверстий выбирается

максимальным ($n_{\text{отв}}=1000\div 1500$), а размещение их на распылительной головке – наиболее плотным (в шахматном порядке или по сфере). Это позволяет получить максимальную равномерность распределения состава при регулируемой дальности полета и плотности струй ингибитора.

6. Взрывоподавляющие устройства

Для надежного подавления взрывов требуется высокое быстроедействие автоматических противовзрывных систем, незначительное время доставки огнетушащего средства в зону горения, а также достаточно эффективная протяженность распыленного факела. Взрывоподавляющие устройства должны быть пригодны для эксплуатации в широком интервале температур и давлений, отличаться простотой конструкции и надежностью действия.

Конструкции взрывоподавителей можно подразделить на четыре группы:

устройства с разрушаемой оболочкой, приводимые в действие ударной волной, образующейся при срабатывании детонатора;

пневматические устройства, в которых для распыления огнетушащего средства используется энергия заключенного в баллоне сжатого газа;

пирогидроимпульсные устройства типа "гидропушка", в которых для диспергирования огнетушащего средства используется давление газа, образующегося при сгорании пиротехнического заряда;

комбинированные устройства, в которых совмещается принцип действия перечисленных конструкций с последующей подачей огнетушащей жидкости из магистральных трубопроводов.

7. Область применения автоматических систем локализации и подавления взрывов

Наиболее широко и эффективно системы локализации и подавления взрывов используются на предприятиях нефтеперерабатывающей, химической, нефтехимической и других отраслей промышленности, связанных с обращением легковоспламеняющихся жидкостей, горючих газов и взрывоопасных пылей. Из ряда типовых систем взрывозащиты технологических аппаратов наибольший интерес для использования в различных отраслях промышленности представляет система, основанная на методе вакуумирования и взрывоподавления.

Система подавления взрывов в закрытых аппаратах методом вакуумирования предназначена для пожаро– и взрывозащиты технологических процессов, защиты от разрушений технологических

аппаратов, предотвращения развития крупных вторичных пожаров в производственных зданиях. Подавление взрывов в закрытых аппаратах методом вакуумирования возможно двумя способами: активным и пассивным.

Активный способ основан на регистрации загорания в технологическом аппарате датчиком и принудительной (под действием электрической энергии) разгерметизации сбросного трубопровода, соединяющего рабочий технологический аппарат и буферную емкость, находящуюся под разрежением.

Пассивный способ заключается в разрушении предохранительной мембраны разгерметизирующего устройства под действием механического привода, побудителем которого является собственно энергия взрыва технологической среды.

Для снижения температуры продуктов горения и предупреждения загораний горючей смеси внутри сбросного трубопровода и буферной емкости в газовый поток вводится хладагент (вода, хладон, порошок и т.п.).

Автоматическая система взрывоподавления разработки ВНИИПО предназначена для подавления быстроразвивающихся пожаров и взрывов углеводородовоздушных и сероуглеродовоздушных смесей внутри технологических аппаратов с целью предотвращения развития крупных пожаров в производственных зданиях.

Принцип действия системы заключается в следующем. При воспламенении горючей смеси сигналы от датчиков пламени ДП или реле давления РД, которые используются в качестве дублирующего привода, поступают по логическим каналам обработки информации на сигнально-пусковой блок. Давление срабатывания реле 2СГС-0.15 составляет 0,015 - 0,005 МПа.

Блок датчиков формирует мощный импульс тока, от которого срабатывает газогенератор, состоящий из побудителя и порохового заряда, только в случае одновременной регистрации загораний по двум лучам и в любой комбинации. Давлением газов, образующихся при сгорании порохового заряда в газогенераторе, огнетушащее средство через распылитель вытесняется из гидроимпульсных устройств и распределяется по защищаемому объему.