

## **Глава 8**

### **АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ПОДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВОВ**

#### **8.1. 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 в целях 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 в целях 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. 8.1.

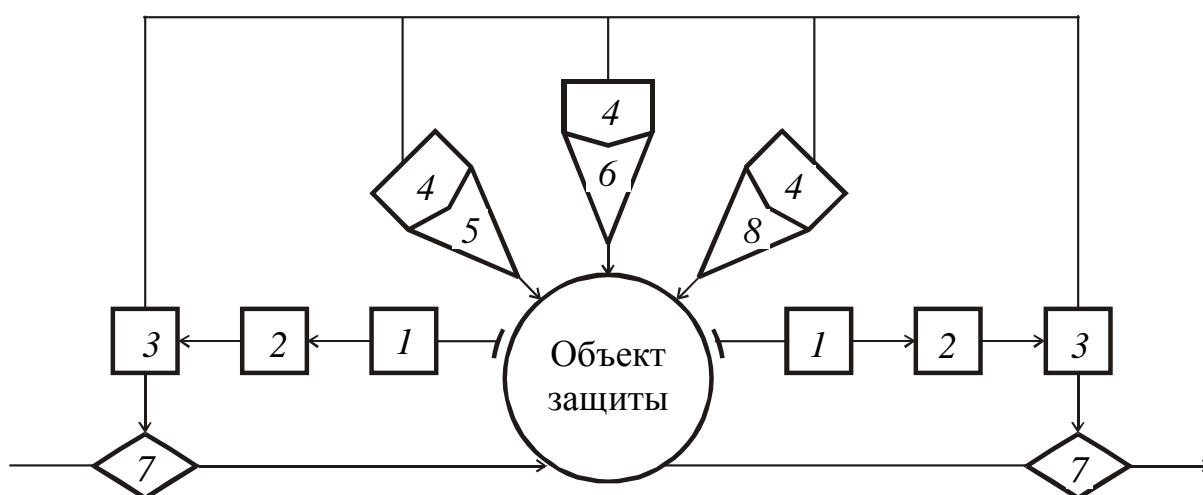


Рис. 8.1. Структурная схема автоматической системы взрывозащиты

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 блокировании 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  $\Delta V_r$ , и количества газов, истекающих через разгерметизирующее отверстие:

$$V = V_0 + \Delta V_r - \Delta V_{\text{ист}}. \quad (8.1)$$

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

$$\Delta V_r = \frac{4}{3} \pi v_n^3 \varepsilon^3 \Delta t (\varepsilon - 1), \quad (8.2)$$

где  $v_n$  – нормальная скорость горения;  $t$  – время, за которое образуется при взрыве в аппарате объем газов  $V_r$ ;  $\varepsilon$  – степень расширения продуктов горения.

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

$$\frac{\Delta V_{\text{ист}}}{\Delta t} = \phi F v \geq \frac{\Delta V_r}{\Delta t}, \quad (8.3)$$

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

Расчетная площадь проходного сечения разгерметизирующего отверстия определяется из уравнения (8.3):

$$F = \frac{\Delta V_r}{\Delta t \phi v}. \quad (8.4)$$

Время  $t$  принимается равным:

$$\Delta t = t_{p_{\text{max}}} - t_{\text{разг}}, \quad (8.5)$$

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 (8.5) вводится поправочный коэффициент запаса

$$f = kF, \quad (8.6)$$

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

$$F = cV_0, \quad (8.7)$$

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 пироприводом и управляемые мембраны*. В разгерметизирующей предохранительной мембране, показанной на рис. 8.2, разрушение мембраны 4 обеспечивается ножом 3, закрепленным на плунжере 2, который приводится в действие под давлением газов, образующихся при срабатывании пиротехнического заряда 1.

Блокирование аварийного технологического аппарата или производственного участка производится в целях 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 непригодна 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.

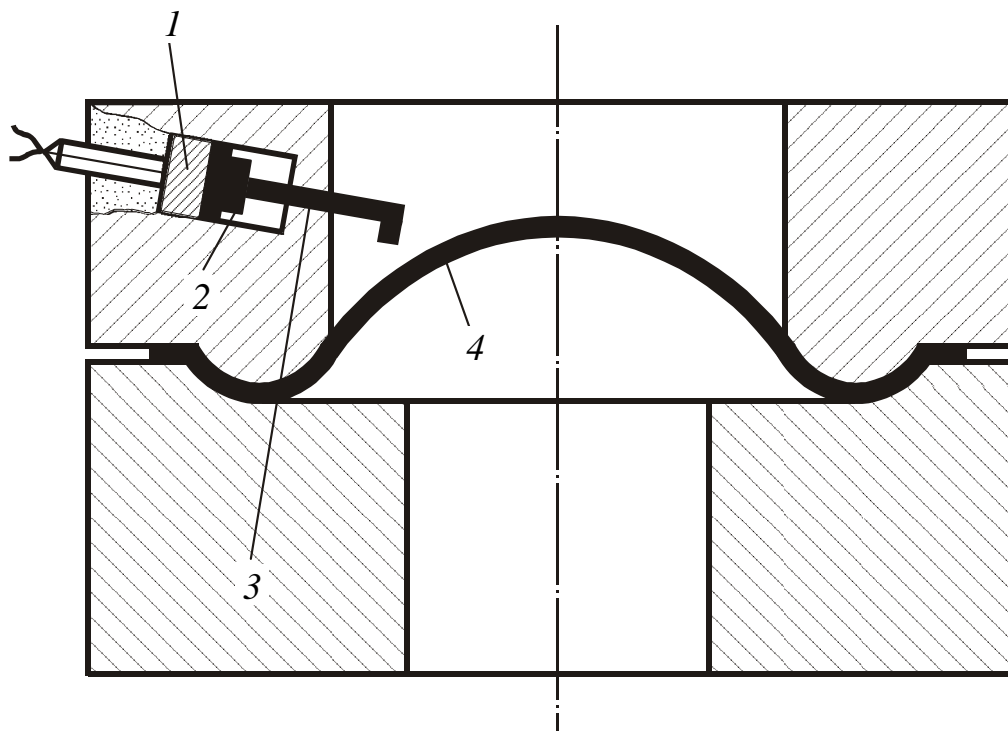


Рис. 8.2. Разгерметизирующая предохранительная мембрана

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 500 мм. Запорный орган состоит из тарелки 3 и рычага 4 (рис. 8.3). Подвижное соединение тарелки с рычагом обеспечивает правильную посадку тарелки на седло 2. Запорный орган установлен внутри корпуса 1. На конце вала 5 установлен рычаг 9 настройки клапана. Приводом клапана служит электромагнит 6, установленный на кронштейне. На концевой части электромагнита есть защелка 7. К рычагу приварен диск 8 с пазом. При подаче напряжения на обмотку электромагнита сердечник перемещается вверх и защелка 7 выходит из зацепления с диском 8, в результате чего тарелка 3 под действием силы собственной тяжести и груза 10 перемещается, перекрывая проходное сечение клапана. Для открытия клапана рычаг 9 вручную поворачивают на 90°, защелка входит в паз диска и клапан фиксируется в открытом положении. Время срабатывания клапанов такой конструкции 2 – 3 с.

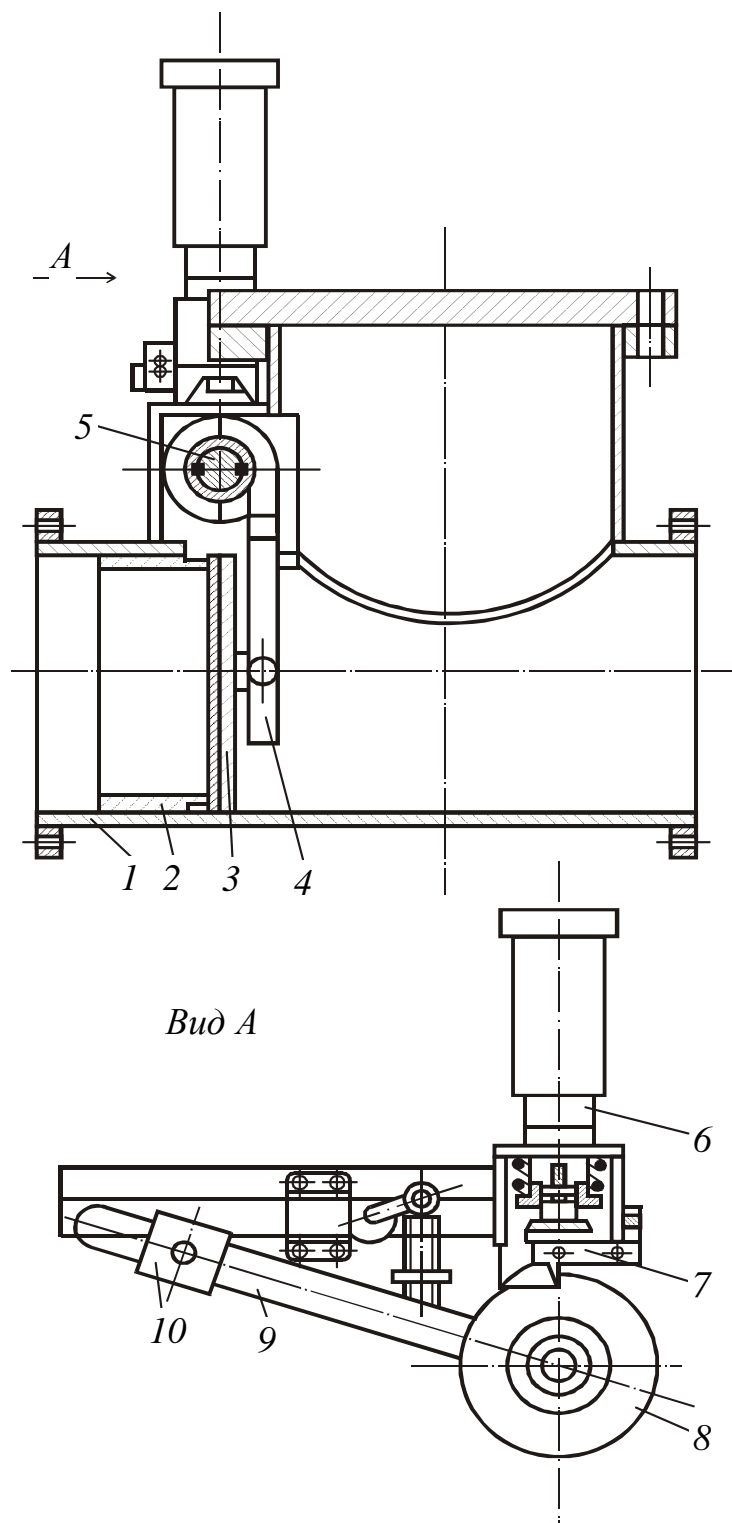


Рис. 8.3. Поворотный грузовой отсечной клапан

Для увеличения быстродействия общепромышленных отсекателей разработана конструкция, показанная на рис. 8.4, которая обеспечивает работу отсекателя как в нормальном режиме управления технологическим процессом, так и для аварийного перекрытия трубопровода. Пневмопривод

отсекателя снабжен двумя дополнительными полостями А и В, отделенными мембранами 2 и 3. Полость А заполнена сжатым газом, и в ней расположен пирозаряд 1. При подаче управляющих пневматических импульсов через штуцер 4 отсекатель работает в режиме управления технологическим процессом. В аварийной ситуации подается электрический сигнал на срабатывание пирозаряда, который разрушает мембрану 2, и сжатый газ, деформируя мембрану 3, перемещает запорный орган в закрытое положение. Установка привода такой конструкции позволяет повысить быстродействие серийно выпускаемых пневмоотсекателей в 20 – 30 раз.

Наиболее высоким быстродействием обладают отсекатели с пироприводом. Одна из конструкций такого клапана показана на рис. 8.5.

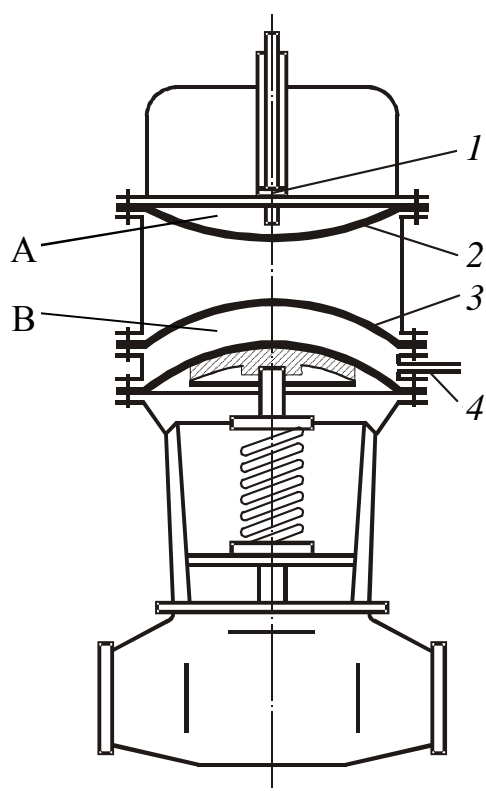


Рис. 8.4. Модернизированный пневмоотсекатель

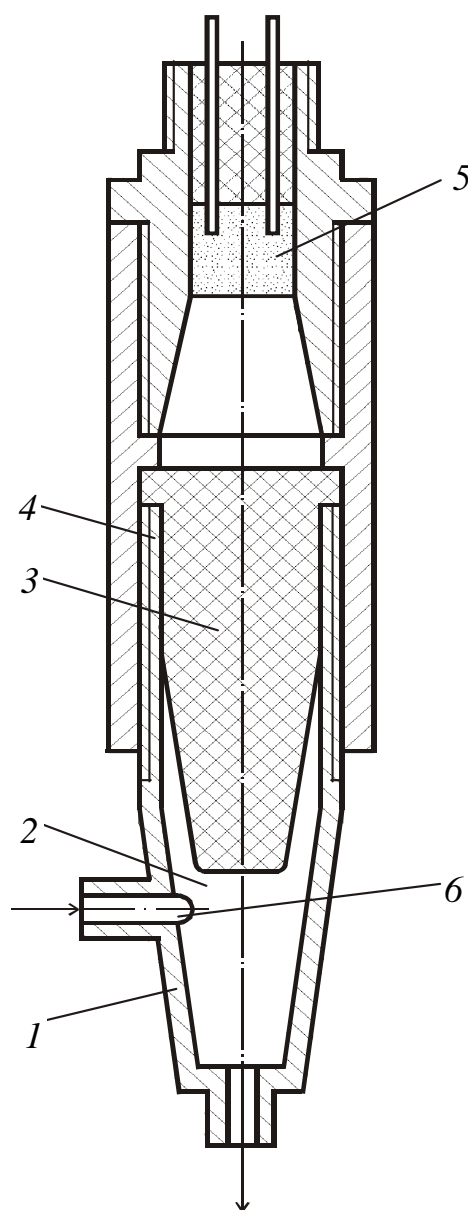


Рис. 8.5. Пробковый отсекатель с пироприводом

Он состоит из корпуса *1* с поперечной полостью *2* в виде конического седла, в котором заклинивается запорный орган *3* в виде усеченного конуса с уплотнительным пояском *4*. При подаче сигнала на закрытие срабатывает пирозаряд *5* и под действием давления образующихся газов, срезая уплотнительный пояс *4*, запорный орган *3* перемещается в коническом седле и перекрывает канал *6*.

На рис. 8.6 показана схема пламеотсекателя-оросителя с поворотной заслонкой. Отсекатель состоит из корпуса *4* и заслонки *3*, при повороте которой на  $90^\circ$  происходит перекрытие потока технологической среды. Поворот заслонки обеспечивается реактивной силой струи огнетушащей жидкости, вытекающей через распылитель *2*. В открытом положении заслонка удерживается гидравлическим замком *1*, который при подаче жидкости освобождает заслонку от сцепления с ним.

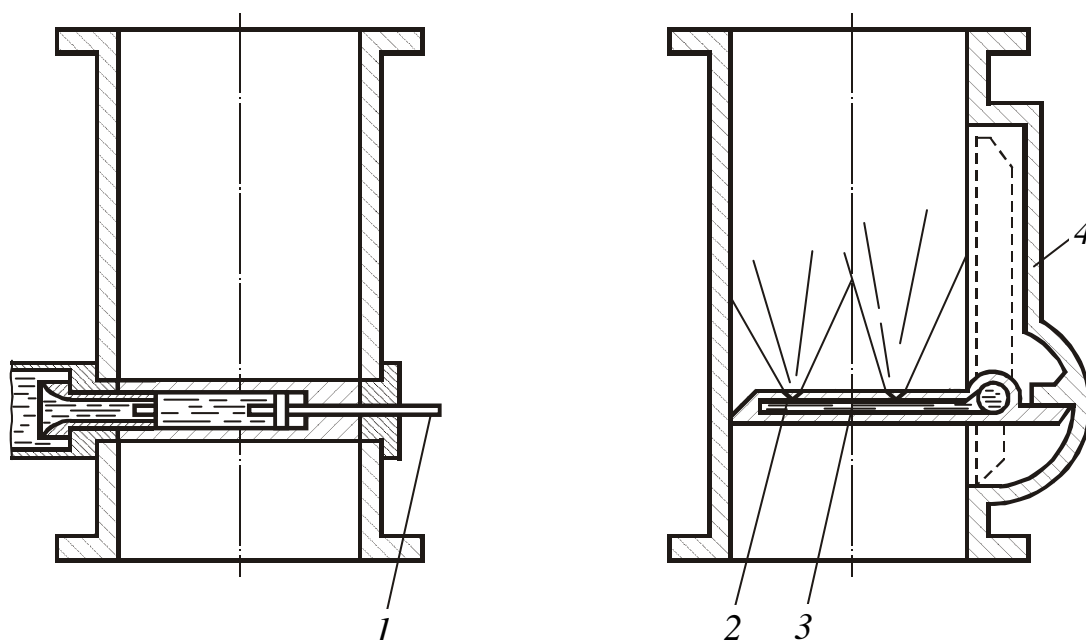


Рис. 8.6. Пламеотсекатель-ороситель с поворотной заслонкой

В ряде случаев локализовать пламя в трубопроводах можно форсуночными заградительными устройствами, схема которых приведена на рис. 8.7. Внутри трубопровода *1* (рис. 8.7, *а*) размещено несколько сопел *2* с радиально направленными отверстиями. Через трубу *3* к соплам подводится огнетушащее вещество. В другом варианте (рис. 8.7, *б*) в центре трубопровода *1* расположено сопло *2*, направленное вдоль оси трубопровода. Для спуска воды служит патрубком *4*.

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



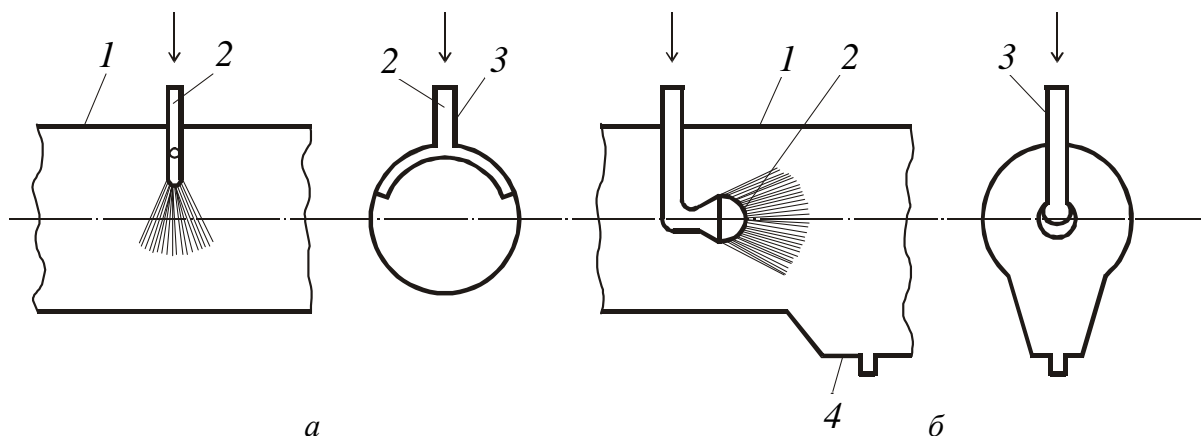


Рис. 8.7. Форсуночные заградительные устройства:  
*а* – с радиально направленным соплом; *б* – с осевым соплом

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

$$t < L/v, \quad (8.8)$$

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.

## 8.2. 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

$$p_k = p_0 \frac{T_b m}{T_0 n}, \quad (8.9)$$

где  $p_k$ ,  $T_b$  – 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  $T_0$ :

$$p_{\text{взр.к}} = p_0 \frac{T_k}{T_0} = 8 p_0. \quad (8.10)$$

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:

$$k = V/V_0, \quad (8.11)$$

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:

$$\frac{dp}{dt} = p_0 \left( \frac{m}{n} \frac{T_b}{T_0} - 1 \right) \frac{d\alpha}{dt}, \quad (8.12)$$

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:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{\rho F v_{\text{н}}}{\rho_0 V_0}, \quad (8.13)$$

где  $F$  – площадь поверхности пламени;  $v_n$  – нормальная скорость распространения пламени;  $V_0$  – объем сосуда;  $\rho, \rho_0$  – 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

$$\frac{R}{R_0} = \left[ 1 - \left( \frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \left( \frac{p_k - p}{p_k - p_0} \right) \right]^{\frac{1}{3}}, \quad (8.14)$$

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

Давления  $p_k$ ,  $p_0$  и  $p$  могут быть измерены экспериментально, а скорость развития взрыва рассчитана по уравнению (8.14).

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

$$\tau_{\text{инк}} = 0,2 \sqrt{V_0 \frac{p_{\text{взр.доп}} - p_0}{p_{\text{взр.доп}}}}. \quad (8.15)$$

Приняв  $p_0 = 1$  и задавшись несколькими значениями  $p_{\text{взр.доп}}$   $V_0$ , определим минимальные числовые значения  $\tau_{\text{инк}}$  для различных случаев (табл. 8.1).

Таблица 8.1

**Минимальные числовые значения  $\tau_{\text{инк}}$**

| Объем сосуда $V_0, \text{м}^3$ | $\tau_{\text{инк}}, \text{мс, при } p_{\text{взр.доп}}, \text{Па}$ |                  |                  |                  |                |
|--------------------------------|--|------------------|------------------|------------------|----------------|
|                                | $1,2 \cdot 10^5$   | $1,4 \cdot 10^5$ | $1,6 \cdot 10^5$ | $1,8 \cdot 10^5$ | $2 \cdot 10^5$ |
| 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. 8.1 видно, что минимальный инкубационный период развития взрыва в указанном диапазоне изменения параметров составляет приблизительно 90 мс, т.е. 0,1 с для парогазовоздушных смесей (для емкостей объемом 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.

Схема развития и подавления взрыва и блок-схема АСПВ приведены на рис. 8.8.

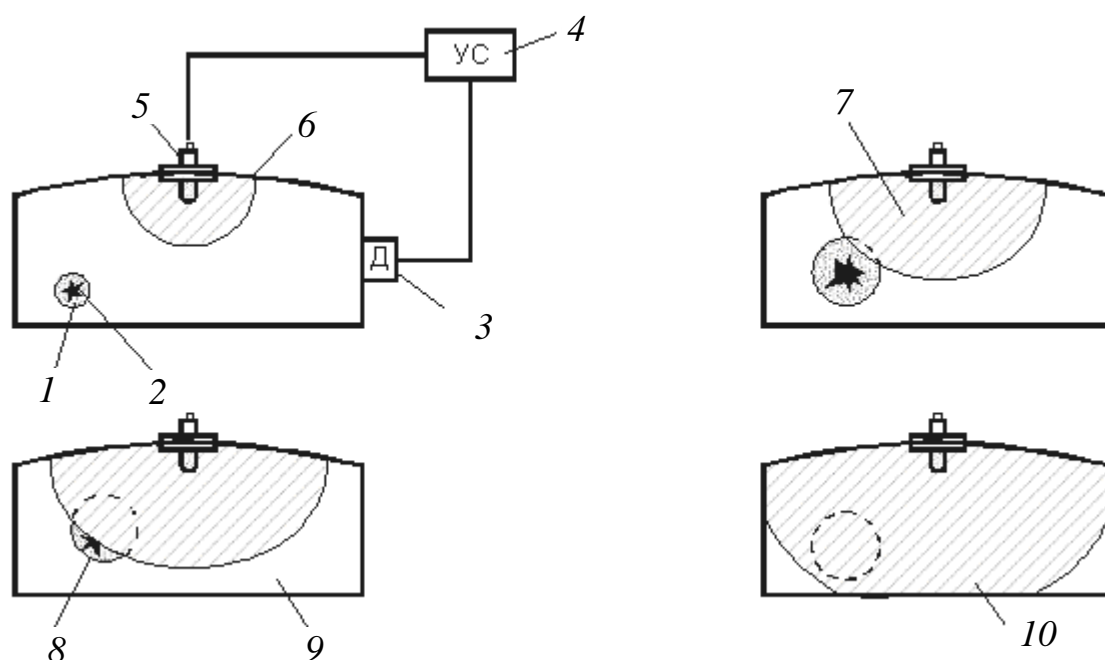


Рис. 8.8. Схема развития и подавления взрыва автоматической системой:

- 1 – фронт пламени; 2 – источник зажигания; 3 – датчик;  
4 – усилитель; 5 – пороховой заряд; 6 – фронт потока ингибитора;  
7 – объем, заполненный ингибитором; 8 – продукты горения;  
9 – непрореагировавшая смесь; 10 – взрыв подавлен

Начальный момент взрыва обнаруживается датчиком АСПВ по одному из характерных для взрыва параметров (излучение, давление, ионизация). Выходной сигнал датчика, усиленный в каскаде усиления, передается к исполнительному органу взрывоподавляющего устройства – пороховому аккумулятору давления. Под действием давления пороховых газов огнетушащая жидкость вытесняется из агрегата впрыска ингибитора взрывоподавляющего устройства. Распространяясь по всему объему защищаемого пространства, струи ингибитора распыляются на отдельные капли, испа-

ряются и, смешиваясь с газовой средой, нейтрализуют взрывоопасную горючую смесь, локализуя тем самым очаг взрыва в зоне его возникновения. Затем, распространяясь дальше, поток массы ингибитора достигает зоны первоначального зарождения взрыва и подавляет горение во фронте пламени. Развитие и распространение взрыва прекращается, при этом максимальное давление взрыва не превышает допустимого значения давления в защищаемом объеме.

Таким образом, АСПВ обеспечивает обнаружение взрыва, ввод ингибитора и его равномерное распределение в объеме защищаемого объекта и, следовательно, подавление взрыва. В процессе развития взрыва и его активного подавления можно выделить три характерных участка (рис. 8.9): развитие взрыва до момента обнаружения загорания датчиком, срабатывание системы и активное подавление пламени огнетушащим веществом, постепенное снижение температуры газопаровоздушной смеси и выравнивание давления в технологическом аппарате до первоначального.

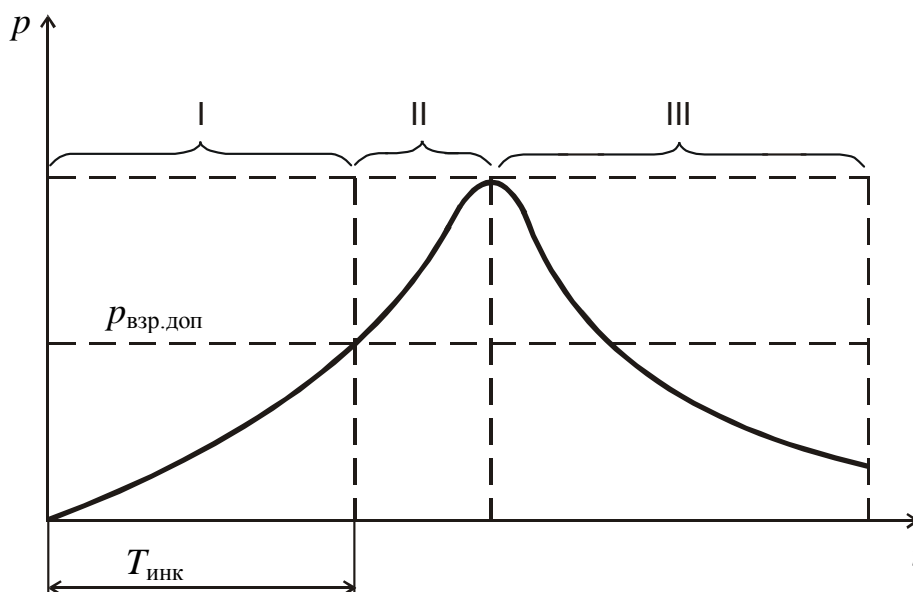


Рис. 8.9. Процесс развития и подавления взрыва:

I — развитие взрыва до момента обнаружения;

II — активное подавление взрыва;

III — взрыв подавлен

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

$$\tau_{сист} \leq \tau_{инк}. \quad (8.16)$$

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 ( $R_{\max} < 1$  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.

### **8.3. 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 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 газопаропылевоздушных 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 10 м<sup>3</sup>) ориентировочно можно производить по формуле

$$G_{\text{инг}} = K_1 K_2 K_3 K_4 \alpha_{\text{лаб}} V_0, \quad (8.17)$$

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  $\omega$ , то  $K_3 = 1/\omega$ );  $K_4$  – коэффициент запаса 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.

При горении большинства углеводородовоздушных смесей наиболее эффективным, химически активным ингибитором является тетра-

фтордибромэтан  $C_2F_4Br_2$  (хладон 114В2). Значение коэффициента  $\alpha_{\text{лаб}} = 500 \text{ мг/л}$  (или  $0,5 \text{ кг/м}^3$ ).

Тогда количество ингибитора определяем по формуле

$$G_{\text{инг}} \approx (1 \div 5) 0,5,$$

$$V_0 \approx (0,5 \div 2,5) V_0, \quad (8.18)$$

$$V_{\text{под}} \approx (0,2 \div 1,1) V_0, \quad (8.19)$$

т.е.

$$V_{\text{под}} = \frac{G_{\text{инг}}}{\gamma_{\text{инг}}} = \frac{(0,5-2,5)}{2,18} V_0, \quad (8.20)$$

где  $V_{\text{под}}$  – объем подавителя;  $\gamma_{\text{инг}}$  – удельный вес ингибитора  $2,18 \text{ г/см}^3$ ;  $V_0$  – объем защищаемого резервуара,  $\text{м}^3$ .

С учетом реальных значений для защищаемых объемов в пределах от  $0,5$  до  $10 \text{ м}^3$  емкость взрывоподавителя лежит в пределах от  $0,5$  до  $10-12 \text{ м}^3$  (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  $5 - 10 \text{ м}^3$  (когда наибольший линейный размер от места установки подавителя до наиболее удаленной точки воспламенения защищаемого резервуара больше  $1,5 - 2 \text{ м}$ ) расчет необходимого количества огнетушащего средства также можно вести по рассмотренной методике. Однако по конструктивным соображениям целесообразно необходимое количество ингибитора распределить в нескольких (двух–четырех) впрыскивающих устройствах (в зависимости от геометрической формы и конфигурации защищаемого резервуара).

Для больших объемов сосудов, бункеров и резервуаров порядка  $20 - 25 \text{ м}^3$  и более, когда максимальный линейный размер защищаемого пространства превышает  $3 - 3,5 \text{ м}$  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 парогазовоздушной 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 114B2).

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:

$$\sum_{i=1}^n \frac{S_{\text{отв}}}{S_{\text{поп}}} \approx 1. \quad (8.21)$$

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.

#### 8.4. Взрывоподавляющие устройства

Для надежного подавления взрывов требуется высокое быстродействие 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:

- 1) устройства с разрушаемой оболочкой, приводимые в действие ударной волной, образующейся при срабатывании детонатора;
- 2) пневматические устройства, в которых для распыления огнетушащего средства используется энергия заключенного в баллоне сжатого газа;
- 3) пирогидроимпульсные устройства типа "гидропушки", в которых для диспергирования огнетушащего средства используется давление газа, образующегося при сгорании пиротехнического заряда;
- 4) комбинированные устройства, в которых совмещается принцип действия перечисленных конструкций с последующей подачей огнетушащей жидкости из магистральных трубопроводов.

### **8.5. 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 разряжением.

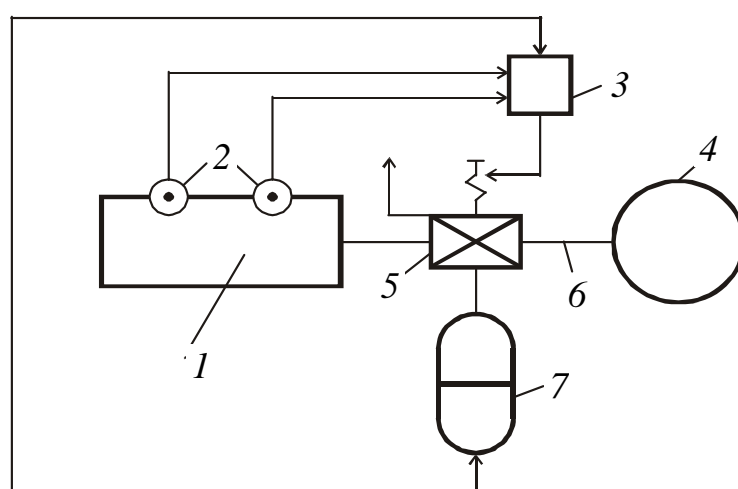
*Пассивный способ* заключается в разрушении предохранительной мембраны разгерметизирующего устройства под действием механического привода, побудителем которого является собственно энергия взрыва технологической среды.

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

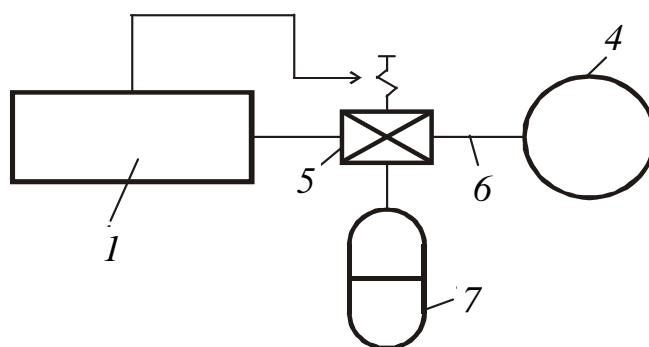
Структурные схемы автоматической системы подавления взрывов в закрытых технологических аппаратах методом вакуумирования приведены на рис. 8.10.

Система, основанная на активном способе взрывозащиты (рис. 8.10, *а*), состоит из аппаратуры обнаружения загораний 2 и 3 (взрыворегистрирующая сигнально-пусковая установка 3 в комплекте с двумя реле давления 2, включенными по логической схеме конъюнкции), устройств разгерметизации 5 и орошения 7, буферной емкости 4 и сбросного трубопровода 6.

Защищаемый технологический аппарат 1 соединен с буферной емкостью 4 сбросным трубопроводом 6, на котором монтируется клапан-разгерметизатор 5 со встроенным или независимо подсоединенным оросителем 7. Реле давления 2 устанавливаются сверху технологического аппарата 1; вторичный прибор аппаратуры обнаружения загораний размещается в операторной или другом обособленном помещении.



*а*



*б*

Рис. 8.10. Структурная схема взрывозащиты технологических аппаратов методом вакуумирования:

*а* – активный способ; *б* – пассивный способ

При возникновении загорания в рабочем технологическом аппарате реле давления регистрируют избыточное давление в начальный период развития взрыва, когда давление еще значительно меньше предельно допустимого значения для технологического аппарата, и передают управляющий импульс через вторичный прибор на клапан–разгерметизатор и устройство орошения, заполненное хладагентом. При срабатывании клапана происходит разгерметизация рабочего аппарата, и под действием сверхкритического перепада давлений, определяемого в основном давлением в рабочем аппарате и начальным давлением в буферной емкости, находящейся под вакуумом, начинается перетекание горючей смеси или высокотемпературных продуктов горения в буферную емкость. Одновременно в газовый поток из устройства орошения диспергируется хладагент.

Система, построенная по пассивному способу взрывозащиты, состоит из устройства разгерметизации 5, устройства орошения 7, буферной емкости 4 и сбросного трубопровода 6.

Устройства разгерметизации и орошения в этой системе срабатывают непосредственно под действием избыточного давления, образующегося в технологическом аппарате при взрыве газопаровоздушной смеси. В остальном принцип действия системы аналогичен описанному выше.

Одна буферная емкость может быть использована для взрывозащиты нескольких технологических аппаратов.

Автоматическая система взрывоподавления, разработанная во ВНИИПО, предназначена для подавления быстроразвивающихся пожаров и взрывов углеводородовоздушных и сероуглеродовоздушных смесей внутри технологических аппаратов в целях предотвращения развития крупных пожаров в производственных зданиях.

Система взрывоподавления, структурная схема которой приведена на рис. 8.11, состоит из взрыворегистрирующей и взрывоподавляющей частей, элементов контроля и сигнализации.

Взрыворегистрирующая часть представляет собой взрыворегистрирующую сигнально-пусковую установку (ВСПУ), в состав которой входят вторичный прибор, укомплектованный взрыворегистрирующим блоком, сигнально-пусковым блоком и блоком питания, два датчика и комплект реле давления, включаемые по двухлучевой схеме совпадения.

Взрывоподавляющая часть включает группу гидроимпульсных устройств, каждое из которых состоит из аккумулятора огнетушащего вещества (АОВ), распылителя (Р), газогенератора (ГГ) и реле уровня (РУ).

Реле уровня РУ предназначено для контроля уровня вещества в АОВ. При утечке огнетушащего средства РУ своими контактами коммутирует цепь реле с искробезопасными входами РИ-1, которое управляет звуковой и световой сигнализацией УС.

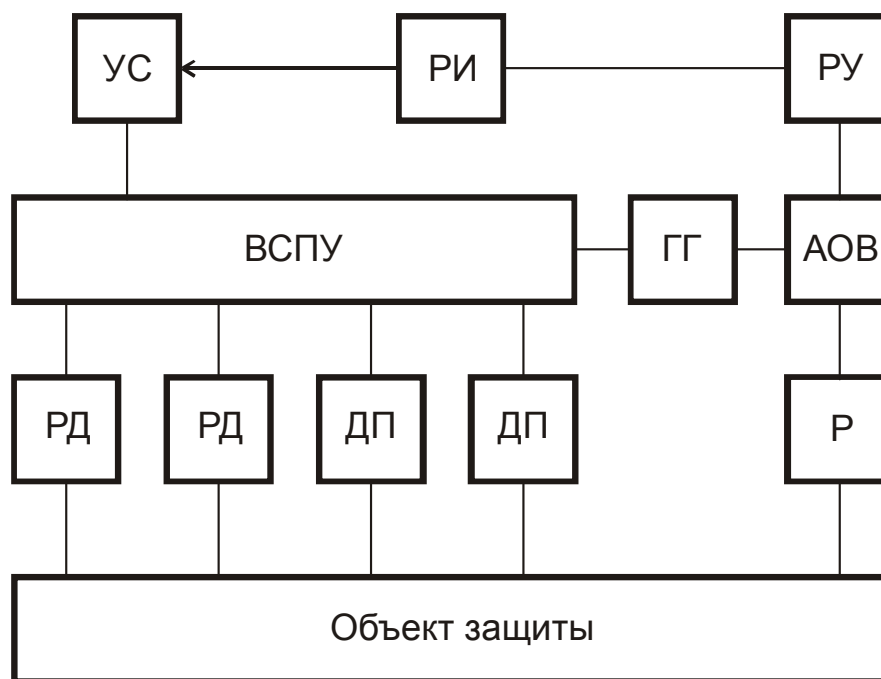


Рис. 8.11. Структурная схема системы взрывозащиты:  
 ДП – датчик пламени; РД – реле давления; ВСПУ – взрыворегистрирующая  
 сигнально-пусковая установка; УС – устройства сигнализации; РИ – реле  
 с искробезопасными входами; РУ – реле уровня; ГГ – газогенератор;  
 АОВ – аккумулятор огнетушащего вещества; Р – распылитель

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.