

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический  
университет растительных полимеров»**

---

**Кафедра основ безопасности систем и процессов**

# **ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ НА ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ**

**Методические разработки для изучения раздела  
«Чрезвычайные ситуации» общепрофессиональной  
дисциплины «Безопасность жизнедеятельности»**

**Факультет - механики автоматизированных производств**

**Специальность: 150405 «Машины и оборудование лесного  
комплекса»**

**240801 «Машины и аппараты химических  
производств»**

**Санкт-Петербург  
2010**

УДК 676.018.8.(07.07)

Чрезвычайные ситуации на химико-технологических объектах: методические разработки для изучения раздела «Чрезвычайные ситуации» общепрофессиональной дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» /сост. В.И.Якимов, И.О.Протодьяконов; ГОУВПО СПбГТУРП.- СПб., 2010.- 26 с.

Рассмотрены методы прогнозирования и оценки разрушительного воздействия крупномасштабных аварий на химико-технологических объектах целлюлозно-бумажного производства с целью превентивной защиты от возникновения чрезвычайных ситуаций.

Предназначены для студентов очной и заочной форм обучения по специальности: 150405 «Машины и оборудование лесного комплекса» и 240801 «Машины и аппараты химических производств».

Рецензент: доцент химико-фармацевтической академии  
(СПХФА), канд. техн. наук Л.В.Тагиева

Подготовлены и рекомендованы к печати кафедрой основ безопасности систем и процессов ГОУВПО СПбГТУРП (протокол № 7 от 15.04.10).

Утверждены к изданию методической комиссией факультета механики автоматизированных производств ГОУВПО СПбГТУРП (протокол № 6 от 05.05.10).

© ГОУВПО Санкт-Петербургский  
государственный  
технологический университет  
растительных полимеров, 2010

## **ВВЕДЕНИЕ**

Специфической особенностью современного химического производства, к которому относятся и целлюлозно-бумажная отрасль, является использование в больших количествах так называемых энергоёмких и химически опасных технологических сред, которые в определенных условиях создают предпосылки для возникновения крупномасштабных аварий – техногенных чрезвычайных ситуаций.

Анализ аварийности на производстве показывает, что подавляющее число техногенных чрезвычайных ситуаций (до 90 %) происходит именно на предприятиях химического профиля.

В этой связи изучение причин возникновения, динамики развития и оценка последствий аварии на химико-технологических объектах является важнейшим элементом подготовки инженеров целлюлозно-бумажных специальностей в рамках общепрофессиональной дисциплины «Безопасность жизнедеятельности».

Наряду с теоретическими знаниями в рамках практических занятий студенты по индивидуальным заданиям преподавателя выполняют расчеты и оценки аварийных ситуаций на химико-технологических объектах в соответствии с требованиями раздела 5 настоящего методического издания.

### **1. ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗРУШИТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВАРИЙ НА ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ**

Аварии на химико-технологических объектах (ХТО) могут отличаться не только по масштабам разрушительного воздействия, но и по сценариям их развития. Это, в первую очередь, зависит от:

- **физико-химических и пожароопасных свойств** веществ, применяемых в технологических процессах на этих объектах;
- **количества** обращающихся в технологическом процессе веществ (тоннажности производства);
- **режима обработки** энергоёмких сред ( $t$ ;  $p$ ; скорости материальных потоков и т.д.).

Тем не менее, для определения характерных факторов опасности на ХТО может быть предложена общая (условная) модель возникновения и развития аварии (рис.1).

Как показывает практика крупномасштабных аварий на ХТО, начальная стадия аварии ограничивается одним аппаратом или группой аппаратов, предназначенных для ведения одной операции, локальным участком трубопровода и т. д. (т.е. так называемый **технологический блок**). Причиной инициирования аварии чаще всего служит выход параметров технологического процесса из регламентированных пределов (неуправляемое повышение температуры, давления, нарушение состава технологической среды, в результате чего она приобрела взрывоопасные свойства и др.).

Такие нарушения технологического регламента могут привести к **разгерметизации** или даже **разрушению** аварийного технического блока из-за локального взрыва технологической среды в его объёме либо в результате резкого повышения давления в технологическом аппарате, как следствие, неконтролируемого роста температуры жидкой фазы или потери контроля за системой регулирования давления подачи парогазовой фазы (ПГФ) в технологический блок.

На следующем этапе развития аварии разгерметизация (или разрушение) технологического блока приводит к **выбросу** из него технологической среды в окружающее пространство.



Рис. 1. Типовая модель развития аварий на химико-технологических объектах

Характер дальнейшего развития аварии во многом определяется физико-химическими свойствами технологической среды и, в частности, ее агрегатным состоянием.

Если технологическая среда, поступившая в окружающее пространство, находится в парогазовом (ПГФ) или аэродисперсном (АДФ) состоянии, то она образует вокруг аварийного технологического блока взрывоопасное облако (за счёт смешения с окружающим воздухом). В конечном счете, взрыв этого облака приводит к разрушению технологических объектов, зданий, сооружений, а также травмированию людей не только за счёт ударной волны, но и поражения осколками разрушенных производственных объектов.

Следует помнить также, что многие энергоёмкие технологические среды являются химически опасными веществами. Поэтому пожаро-взрывоопасные объекты (ПВОО) с такими средами одновременно могут рассматриваться и как химически опасные (ХОО).

Если поступающая в окружающую среду технологическая среда находится в **жидко** – или **твёрдофазном** состоянии, то, испаряясь (ЖФ) или разлагаясь (ТФ) с выделением горючих газов или паров, она может образовать **очаг пожара**.

Разрушение производственных объектов и поражение людей в этом случае происходит, в основном, за счёт высокоинтенсивного теплового излучения из очага пожара. Кроме того, разложение веществ в очаге пожара, как правило, сопровождается выделением в окружающее пространство взрывоопасных и токсических веществ в парогазовом состоянии.

Таким образом, **специфическими** факторами разрушающего воздействия при авариях на ХТО являются:

- **ударная волна**, формирующаяся в зоне взрыва технологической среды и распространяющаяся в окружающем пространстве со

**сверхзвуковой скоростью**, зависящей от степени сжатия во фронте ударной волны;

- **тепловое излучение** из зоны пожара или взрыва;
- **химическое заражение** окружающей среды.

## **2. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ РАЗРУШИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ АВАРИЙ НА ПОЖАРО – И ВЗРЫВООПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ**

Пожаро - и взрывоопасный объект (ПВОО) – это объект любого назначения, на котором производят, используют, хранят или транспортируют энергоёмкие технологические среды, создающие потенциальную опасность возникновения крупномасштабных техногенных чрезвычайных ситуаций.

Энергоёмкими технологическими средами считаются вещества и материалы в различных агрегатных состояниях, их смеси, способные при определенных условиях быстро и неуправляемо высвободить запас своей внутренней энергии, совершая разрушительную работу.

Причинами высвобождения разрушительной энергии таких технологических сред могут быть процессы **физической, химической** или смешанной **физико-химической** природы:

- **адиабатическое расширение** технологической среды.

Возможность реализации этого вида энергии характерна для всех сосудов и аппаратов, работающих под избыточным давлением парогазовых (сжимаемых) сред, при их аварийной разгерметизации (газгольдеры, ресиверы, баллоны и цистерны для хранения сжатых газов, трубопроводы пара и др.).

- **перегрев технологической среды в жидкой фазе.**

Уровень перегрева жидкости характеризуется разностью между температурой, при которой жидкость находится в технологическом аппарате, и температурой ее кипения при атмосферном давлении. Если происходит

внезапное разрушение сосуда с перегретой жидкостью, жидкость быстро испаряется с образованием паров вскипания (т.е. быстрым увеличением её объема) и формированием **ударных волн**.

- **экзотермические реакции** взаимодействия технологической среды с окислителями (реакции горения).

- **экзотермическое разложение веществ**.

Методика расчета этих составляющих энергии среды приведены в работах [3,4].

В современной химической технологии широко используются вещества, способные в определенных условиях (нагрев, адиабатическое сжатие, удар, трение) к экзотермическому разложению с большой скоростью (**взрывному разложению**).

Быстрое и неуправляемое высвобождение физической и химической энергии технологической среды с образованием разрушительных ударных волн называют **взрывом**.

Однако химическая энергия технологической среды может высвободиться и в течение достаточно длительного промежутка времени (например, при горении древесины, угля, жидкостей с температурой кипения выше температуры окружающей среды и др.).

Такой процесс неконтролируемого высвобождения химической энергии горючей технологической среды без образования разрушительных ударных волн (неконтролируемое горение) называется **пожаром**.

Итак, при оценках последствий аварийных ситуаций на ПВОО возникает необходимость разделения общего запаса внутренней энергии энергоемкой среды на три составляющие:

$$E = E_{y,v} + E_T + E_{\text{пот}},$$

где  $E_{y,v}$  – доля общей энергии технологической среды, которая затрачивается на формирование ударной волны;

$E_T$  – доля общей энергии технологической среды, реализуемой на тепловое воздействие;

$E_{\text{пот}}$  – энергетические потери, т.е. доля общей энергии технологической среды, не участвующей в разрушительном процессе.

Энергию, которая затрачивается на формирование ударной волны, принято характеризовать **тротиловым эквивалентом**.

**Тротиловый эквивалент** – это условная масса тринитротолуола (ТНТ) в кг, энергия взрыва которой адекватна по степени разрушения энергии технологической среды, затраченной на формирование ударной волны.

Исходя из этого определения, может быть составлен энергетический баланс ударных волн, генерируемых взрывами технологической среды, с одной стороны, и ТНТ, с другой. На основании этого баланса получено выражение для расчёта тротилового эквивалента взрыва технологической среды:

$$W_{\tau} = 9,8 \cdot 10^{-8} \cdot Z \cdot E, \text{ кг},$$

где  $E$  – внутренняя энергия технологической среды, Дж;

$Z$  – коэффициент участия энергии технологической среды в образовании ударных волн.

Значения  $Z$  для различных технологических сред с различными физико-химическими свойствами и условиями образования взрывоопасных систем известны из практического опыта (табл. 1).

Таблица 1

Доля участия энергии технологической среды в создании ударной волны

| Технологическая среда и условия образования взрывоопасных систем                         | $Z$ |
|--|-----|
| 1. Нестабильные вещества, ВВ   | 1,0 |
| 2. Доля участия технологической среды во взрывах в замкнутых пространствах (помещениях): |     |
| - горючие газы, пыль   | 0,5 |
| - пары горючих жидкостей   | 0,3 |
| 3. Доля участия технологической среды во взрывах в открытом пространстве                 | 0,1 |

Знание тротилового эквивалента технологической среды позволяет определить границы зон с характерными разрушениями, используя формулу:

$$R = \frac{C \cdot \sqrt[3]{W_T}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{W_T}\right)^2\right]^{\frac{1}{6}}}, \text{ м,}$$

где  $R$  – радиус зоны разрушения, м;

$C$  - безразмерный коэффициент, характеризующий воздействие ударной волны на объект.

При разрушении в результате взрыва выделяется 5 зон разрушения:



Рис.2. Зоны разрушительного воздействия ударной волны

Аналогичные критерии устойчивости к воздействию ударной волны существуют и для различных видов оборудования (аппаратов, трубопроводов, систем контроля и регулирования технологических процессов, их энергоснабжения и т.д.).

Поражения людей вызываются как **непосредственным** (прямым) воздействием ударной волны, так и **косвенным**.

При непосредственном воздействии ударной волны основной причиной появления травм у человека является практически мгновенное повышение давления воздуха при подходе фронта волны. А это воспринимается человеком как резкий удар. При этом возможны повреждения внутренних органов, разрыв кровеносных сосудов, барабанных перепонки, сотрясения мозга, переломы костей и т.д.

**Легкие поражения** (легкая контузия, временная потеря слуха, ушибы) возникают у человека при избыточном давлении во фронте ударной волны  $\Delta p = 20 - 40$  кПа.

**Средние поражения** (травмы мозга с краткой потерей сознания, повреждения органов слуха, кровотечения из носа и ушей, переломы и вывихи конечностей) наблюдаются при  $\Delta p = 40 - 60$  кПа.

**Тяжелые и крайне тяжелые** поражения человека, вплоть до его гибели, возникают, соответственно, при  $\Delta p = 60 - 100$  кПа и  $\Delta p > 100$  кПа.

Косвенное воздействие ударной волны может проявляться в «метательном» действии.

Скоростной напор воздуха, который возникает перед фронтом ударной волны, может отбросить человека на значительное расстояние и причинить ему при ударе о землю (или препятствия) различные механические повреждения.

Так, перед фронтом ударной волны с избыточным давлением  $\sim 50$  кПа скорость перемещения воздуха превышает **100 м/с**, что примерно в 3 раза больше скорости **ураганного ветра**. В таких условиях люди могут получить травмы не только при потере устойчивости, но быть поражены летящими

обломками зданий, крыш, остекления, камнями и другими предметами, увлекаемыми воздушным потоком.

Разрушительные процессы, возникающие при **пожаре**, их масштабы определяются различными факторами, которые зависят от физико-химических и пожароопасных свойств горючих веществ, их количества, участвующего в горении, условий горения и т.д.

Различают два типа пожаров по условиям их протекания:

- **объемные**, возникающие на объектах, расположенных внутри производственных помещений и зданий;

- **наружные**, к которым относят пожары на объектах, находящихся на открытых производственных площадях.

Для первого типа пожаров характерными особенностями являются:

- **быстронарастающее**, ввиду ограниченного пространства помещения, конвективное и лучистое тепловое воздействие очага горения на оборудование, строительные конструкции, людей;

- **выделение**, ввиду ограниченного поступления воздуха в очаг горения, в больших количествах токсичных продуктов неполного сгорания горючих веществ и их быстрое накопление в объеме помещения и здания;

- **задымление** объема помещения, затрудняющее эвакуацию из него людей.

Для наружных пожаров, помимо непосредственного ущерба от разрушения аварийного объекта, создается угроза поражения окружающих производственных объектов и людей на значительных расстояниях из-за интенсивного потока лучистой энергии из очага пожара.

Разрушительный эффект тепловыделений при объемных пожарах принято оценивать, исходя из количества теплоты, выделяемого с единицы поверхности горения в единицу времени, т.е. так называемой **пожарной нагрузкой**

$$q = Q_r \cdot n_r, \text{ кВт/м}^2,$$

где  $Q_r$  – низшая теплота сгорания вещества, кДж / кг;

$n_r$  – массовая скорость выгорания вещества, т.е. количество вещества, которое выгорает в единицу времени с единицы поверхности горения, кг / м<sup>2</sup> · с.

Неудобство использования этой формулы в практических целях состоит в том, что  $n_r$  не является даже для каждого конкретного вещества величиной постоянной и во многом зависит от поверхности контакта вещества с окружающим воздухом.

Поэтому пожарную нагрузку удобнее представлять как отношение максимального количества тепла, которое данное вещество при полном сгорании может выделить с единицы площади поверхности горения, к теплоте сгорания некоторого стандартного вещества при стандартных условиях горения.

Таким стандартным веществом принята **древесина** в крупнокусковом состоянии, для которой теплота сгорания составляет **13800** кДж/кг, а пожарная нагрузка в стандартных условиях горения ~ **90** кВт/м<sup>2</sup> ( $0,007 \cdot 13800 \cdot 0,94$ ).

Такая приведенная к стандартным условиям пожарная нагрузка называется **удельной пожарной нагрузкой** и определяется по формуле

$$q_{пр} = \frac{Q_r \cdot m_r}{Q_d \cdot S_n}, \text{ кг/м}^2,$$

где  $Q_r$  и  $Q_d$  – соответственно, низшая теплота сгорания вещества и стандартная теплота сгорания древесины (13800 кДж/кг);

$m_r$  – масса горючего вещества, участвующая в горении, кг;

$S_n$  – поверхность, по которой распределено горючее вещество, м<sup>2</sup>.

При этом удельная пожарная нагрузка выражается уже в **единицах массы горючего вещества, приходящейся на единицу поверхности**

горения с поправкой на соотношение теплот сгорания этого вещества и древесины.

Удельная пожарная нагрузка является базовой характеристикой объемного пожара, на основе которой специальными расчетными методами (см. ГОСТ Р 12.3.047-98 [1] ) удается оценить критические параметры безопасности, такие как:

- 1) Необходимый предел огнестойкости строительных конструкций производственных помещений и зданий.

**Предел огнестойкости** – это время (в мин.), в течение которого в условиях пожара в строительной конструкции возникает один из следующих признаков разрушения:

- потеря несущей способности, т.е. способности выдерживать расчетные нагрузки;
- потеря целостности;
- потеря теплоизолирующей способности, при которой пожар может распространиться на смежные помещения.

- 2) Необходимое время эвакуации людей из производственного помещения, исходя из которого проектируются эвакуационные выходы (их количество, пропускная способность, расстояние между ними и т.д.).

При этом используются ряд критериев, обеспечивающих безопасность человека:

- человек должен покинуть помещение до достижения в нем объемной температуры воздуха  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

- человек должен покинуть помещение до достижения в нем так называемой временно допустимой концентрации вредных веществ продуктов термического разложения горючих веществ;

- человек должен покинуть помещение, пока содержание кислорода в воздухе не снизится до критической отметки ~ 17 % об. (вместо 21 % об., как в нормальном воздухе);

- человек должен покинуть помещение, пока предельная дальность видимости в дыму не снизится до 20 м, иначе он потеряет ориентировку в пространстве.

Для **наружных пожаров**, как уже говорилось, конвективный теплообмен с окружающей средой локализован в ограниченном пространстве с очагом горения. Разрушающее (для близлежащих производственных объектов) и поражающее (для людей) воздействие таких пожаров связано с отводом тепла путем радиации. Причем с потоком лучистой энергии может отводиться до 50 % всего тепла, выделяющегося в очаге пожара.

Величину минимального безопасного удаления облучаемого объекта от очага пожара рассчитывают по формуле

$$R_{\text{без}} = R_0 \cdot \sqrt{\alpha \cdot Q_{\text{сг}} \cdot q / I_{\text{пр}}},$$

где  $R_0$  – характерный размер очага пожара, м; определяется по формуле

$$R_0 = \sqrt{S} \quad (S \text{ – площадь горящего фронтона здания, м}^2) \text{ или } R_0 = \sqrt{25,5V}$$

( $V$  – объем разлившейся горючей жидкости, м<sup>3</sup>);

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий геометрию очага пожара ( $\alpha = 0,02$  для плоского очага – разлив горючего вещества;  $\alpha = 0,08$  – для объемного очага – резервуар, здание, кучевое хранение твердых веществ);

$Q_{\text{сг}}$  – удельная теплота сгорания вещества, кДж/кг;

$q$  – массовая скорость выгорания (табл. 2);

$I_{\text{пр}}$  – предельное безопасное значение интенсивности теплового облучения объекта (табл. 3).

## Значения массовой скорости выгорания веществ и материалов

| Вещество, его состояние                                     | Массовая скорость выгорания, $q$ , кг/м <sup>2</sup> ·с |
|---|---|
| Древесина в виде:   |   |
| - штабеля, кучи бревен                                      | 0,07  |
| - кучи щепы, опилок   | 0,018   |
| Древесно-стружечные и древесно-волокнистые плиты в штабелях | 0,015   |
| Бумага в рулонах:   |   |
| - диаметром до 0,4 м  | 0,0125  |
| - диаметром свыше 0,4 м                                     | 0,0084  |
| Макулатура в кипах  | 0,015   |

Для горючих и легковоспламеняющихся жидкостей массовая скорость выгорания может быть определена по формуле:

$$q = 1,25 \cdot 10^{-6} \cdot \rho \cdot Q_{\text{сг}} / Q_{\text{исп}}, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с},$$

где  $\rho$  – плотность жидкости, кг / м<sup>3</sup> ;

$Q_{\text{исп}}$ - теплота испарения жидкости, кДж/кг.

Таблица 3

## Предельно допустимые значения интенсивности теплового излучения

| Облучаемый объект   | Предельно допустимое значение интенсивности теплового облучения, кВт/м <sup>2</sup> |
|---|---|
| 1   | 2   |
| Допустимый порог длительного теплового облучения человека | 1,4   |

| 1   | 2    |
|---|------|
| Деревянные конструкции зданий (окна, двери и т.п.)                              | 13,6 |
| Рулонная кровля зданий  | 13,9 |
| Древесина с необработанной поверхностью   | 10,3 |
| Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости при температуре самовоспламенения, °С: |      |
| 250   | 16,8 |
| 300   | 20,9 |
| 350   | 24,4 |
| 400 и более   | 27,9 |

### 3. ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОЦЕНКИ АВАРИЙ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

Химически опасный объект (ХОО) – это объект, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют аварийно химически опасные вещества (АХОВ).

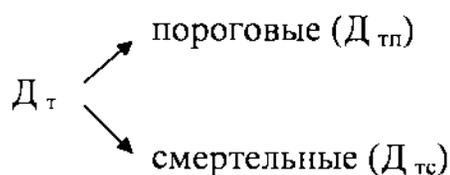
К АХОВ относят вещества, при аварийном выбросе которых может произойти крупномасштабное заражение окружающей среды в поражающих живой организм концентрациях.

Поскольку в условиях аварии на ХОО опасные для здоровья и жизни людей концентрации химических веществ в окружающей среде создаются за короткий промежуток времени, принятые в промышленной токсикологии характеристики токсичности (пороговая концентрация, среднесмертельная концентрация и др.) веществ оказываются неприменимыми, поскольку

методики их определения предусматривают длительное воздействие на организм подопытного животного, например, в остром эксперименте это 2 – 4 часа ингаляционного воздействия.

По этой причине в условиях аварии степень воздействия АХОВ на человека оценивается так называемой **токсической дозой**, которая определяется как произведение концентрации вещества во вдыхаемом воздухе на время его воздействия (экспозицию), т.е.

$$D_{\tau} = C \text{ [мг/л]} \cdot \tau \text{ [мин]},$$



**Пороговая токсодоза** – токсодоза, вызывающая начальные специфические для каждого вещества поражения людей (кашель, чихание, слезоточивость глаз и т.д.)

**Смертельная токсодоза** вызывает поражения людей со смертельным исходом.

Аварии на ХОО характеризуются не только внезапностью (как и любые другие аварии), но и высокой скоростью формирования облака зараженного воздуха на большом удалении от аварийного объекта. Поэтому важнейшим фактором, позволяющим уменьшить негативные последствия химических аварий, является в первую очередь оперативность принятия мер по защите людей от поражения АХОВ.

Такая оперативность, естественно, не могла быть достигнута, если бы мы не могли заранее (до наступления аварии) оценивать наиболее вероятные ее характеристики и масштабы.

Масштабы опасности аварий на ХОО предполагают оценку следующих параметров:

- **количества АХОВ**, которое может поступить в атмосферу, и **динамики** этого поступления;

- **вероятной глубины** зоны заражения местности и, соответственно, уровня аварии по приведенной выше классификации;
- **вероятной площади** зоны заражения;
- **времени подхода** облака химического вещества к расчетной точке прогнозируемой зоны заражения;
- **продолжительности** поражающего действия АХОВ в зоне заражения, т.е. срок, на который должны быть рассчитаны защитные мероприятия.

**Количество АХОВ, образующее зараженное облако, и динамика его формирования.** При заблаговременном прогнозировании масштабов заражения местности на случай производственных аварий априорно принимается условие, при котором **разрушается емкость (оборудование) наибольшего объема и содержащая наиболее опасное вещество.**

Поступившее таким образом в окружающую среду химическое вещество будет формировать облако зараженного воздуха. Динамика этого процесса определяется агрегатным состоянием вещества и его физико-химическими свойствами (прежде всего такими, как летучесть и плотность паров по отношению к воздуху).

АХОВ в емкостной аппаратуре можно хранить и транспортировать в:

- **сильно сжатом состоянии (газы);**
- **сжиженном состоянии под большим избыточным давлением, когда основная масса вещества находится в жидком состоянии, а около 15-20 % объема емкости занято парами этого вещества;**
- **сжиженном состоянии под незначительным избыточным давлением, близким к атмосферному (изотермическое хранение при температуре несколько ниже температуры кипения вещества);**
- **жидком состоянии, когда температура кипения вещества превышает нормальную (20-25 °С).**

Естественно, что при различных способах хранения химического вещества в аварийной емкости динамика его поступления будет различна.

При хранении в **сжатом состоянии** вещество быстро поступает в атмосферу, образуя так называемое **первичное облако заражения**. За счет практически мгновенного (не более 1-3 мин.) перехода почти всей массы вещества из аварийной емкости в окружающую среду в воздухе создаются концентрации, превышающие на несколько порядков смертельные дозы.

Особенностью формирования облака загрязнения при хранении вещества в **сжиженном состоянии под давлением** является его двухстадийность. Это значит, что наряду с первичным облаком, возникающим в момент аварии, жидкая фаза способна за счет своего испарения в течение определенного времени создавать **вторичное облако заражения** со значительно меньшими концентрациями АХОВ в воздухе.

И, наконец, хранение вещества в жидком состоянии (или в сжиженном, но при давлении, близком к нормальному) при аварии емкости приводит к образованию только вторичного облака заражения вокруг ХОО.

**Вероятная глубина зоны заражения** (то есть расстояние, на которое может распространиться облако химического вещества) зависит не только от количества вещества, выброшенного при аварии в окружающую среду, но и от скорости переноса переднего фронта зараженного воздуха.

В свою очередь скорость переноса зависит от метеорологических условий: скорость ветра и вертикальной устойчивости атмосферы в приземном слое.

Различают **3 вида** вертикальной устойчивости атмосферы: инверсию, конвекцию и изотермию.

**Инверсия** – это состояние приземного слоя атмосферы, при котором наблюдается повышение температуры воздуха по мере увеличения высоты (например, ночью, утром, когда поверхность земли, а соответственно, и слои воздуха, непосредственно прилегающие к земле, остывают быстрее, чем более высокие слои атмосферы). Это препятствует развитию вертикальных движений воздуха, вследствие чего и рассеивание зараженного облака в вертикальном направлении тормозится. В результате и концентрация

химического вещества в приземном слое атмосферы, и расстояние, на которое может распространиться облако этого вещества, существенно увеличиваются.

**Конвекция** – это вертикальные перемещения воздуха с одних высот на другие. Теплый воздух (воздух, нагретый поверхностью земли) поднимается вверх, холодный опускается вниз. При этом восходящие потоки воздуха интенсивно рассеивают зараженное облако по вертикали, что препятствует распространению АХОВ только в горизонтальном направлении. Такие явления обычно отмечаются в летние, ясные дни.

**Изотермия** характеризуется относительно стабильным равновесием слоев воздуха по высоте, что типично, например, для пасмурной погоды, в вечерние часы. Изотермия по характеру влияния на рассеивание зараженного облака занимает промежуточное место между инверсией и конвекцией.

Характер устойчивости атмосферы определяется по специальным графикам или таблицам в зависимости от прогноза погоды и времени суток.

**Вероятная площадь заражения** зависит от глубины зоны заражения и ее формы (от «угловых размеров зоны заражения»).

Эти угловые размеры зависят от скорости ветра в приземном слое атмосферы.

Таблица 4

Угловые размеры зоны возможного заражения АХОВ в зависимости от скорости ветра

| $V_{в}, \text{ м / с}$   | <0,5 | 0,5 – 1,0 | Более 1,0 до<br>2,0 | >2,0 |
|--------------------------|------|-----------|---------------------|------|
| $\varphi, \text{ град.}$ | 360  | 180       | 90                  | 45   |

Поскольку при прогнозировании масштабов аварии мы принимаем скорость ветра в 1 м/с, то, соответственно, и форма ожидаемой зоны

заражения будет представлять собой полукруг с центром в аварийном объекте и развернутый по розе ветров.

**Время подхода зараженного облака** к расчетной точке зависит от скорости его переноса воздушным потоком.

Поскольку метеорологические измерения скорости ветра ведутся на одном определенном уровне над поверхностью земли и в определенный, довольно короткий промежуток времени, то естественно, что они не отражают истинной картины распределения скорости воздушных потоков как по высоте, так и во времени.

По этой причине скорость перемещения загрязненного облака оказывается всегда выше измеренной скорости ветра и зависит также от степени вертикальной устойчивости атмосферы.

Итак, скорость переноса переднего фронта зараженного облака может быть определена по формуле

$$V_{\Pi} = k \cdot V_{\text{в}}, \text{ м/с,}$$

где  $V_{\text{в}}$  – скорость ветра по данным метеорологических измерений, м/с;

$k$  – коэффициент, зависящий от вертикальной устойчивости атмосферы

( $k = 1,45$  – для инверсии;  $k = 1,65$  – для изотермии;  $k = 1,95$  – для конвекции).

Зная скорость переноса зараженного облака, легко определить и время его подхода к заданному объекту, т.е.

$$t = \frac{S}{V_{\Pi}}, \text{ с,}$$

где  $S$  – расстояние от источника заражения до заданного объекта, м.

**Продолжительность поражающего действия АХОВ** в заданной точке зоны заражения можно прогнозировать лишь при авариях объектов, в которых химическое вещество содержится в жидкой фазе.

Ясно, что в этом случае загрязнение воздуха будет происходить в течение всего промежутка времени, пока идет процесс испарения жидкой фазы, разлившейся по поверхности земли в момент аварии ёмкости.

#### **4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА РАЗРУШИТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА АВАРИЙ НА ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБЪЕКТЕ**

Аварии по своему разрушительному воздействию делятся на четыре группы (уровня) опасности:

- производственные неполадки (некатегорируемые аварии);
- категорируемые аварии уровней А, Б, В.

К некатегорируемым авариям относятся производственные неполадки, связанные с внезапной остановкой производства, вызванной повреждением оборудования, арматуры, инженерных коммуникаций, отказом в работе приборов контроля и управления, которые могут привести к возникновению аварийных и предаварийных ситуаций.

Крупномасштабные аварии на химико-технологических объектах могут возникать при использовании взрывопожароопасных и токсичных веществ, которые создают опасность взрывов в аппаратуре, производственных помещениях и наружных установках с последующим разрушением зданий, сооружений, технологического оборудования, травмированию или химическому отравлению людей, животного и растительного мира на больших пространствах. Такого рода аварии делят на три уровня разрушительного воздействия (А, Б и В).

На уровне А аварийная ситуация характеризуется развитием в пределах одного блока производственного объекта (установки, цеха, производства), являющегося структурным подразделением предприятия.

На уровне Б аварийная ситуация сопровождается развитием ее в пределах всего предприятия или его части, объединяющей несколько производственных подразделений.

Аварии уровня В характеризуются развитием и выходом за пределы территории предприятия, создавая чрезвычайную ситуацию для близлежащих населенных пунктов, других предприятий и организаций, а также опасность для окружающей природной среды.

Оценка масштабов аварии определяет содержание оперативной части «Плана локализации и ликвидации аварийных ситуаций» уровня А и Б силами самого предприятия, которая включает:

- список и схему оповещения должностных лиц, аварийно-спасательных формирований, организаций и служб, ответственных за выполнение мероприятий по локализации и ликвидации аварийной ситуации;
- обязанности ответственного руководителя и других должностных лиц по локализации и ликвидации аварии;
- инструкции по безопасной остановке аварийных технологических блоков;
- материально-техническое обеспечение (инструменты, материалы, средства индивидуальной защиты членов нештатных аварийно-спасательных формирований и т.п.) противоаварийных работ.

Инженерные расчеты прогнозируемых параметров аварий уровня В ложатся в основу содержания «Плана защиты населения при авариях на химически опасных объектах», разрабатываемого в штабах по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям административно-территориального подчинения как составной части «Плана действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций в мирное время».

Оценка уровня аварийной ситуации на химико-технологических объектах осуществляется на основе расчета размеров вероятных зон поражения при авариях.

Поражающее действие **ударной волны** оценивается по избыточному давлению во фронте ударной волны, которое создается на разных расстояниях от эпицентра взрыва. Методика необходимых для этого расчетов предполагает определение:

- общего энергетического потенциала взрывоопасного технологического блока [2, раздел 3,4];
- приведенной массы горючего вещества, участвующего во взрыве [2, раздел 2];
- тротилового эквивалента взрыва [2, приложение Д.2];
- оценку критического расстояния от эпицентра взрыва до поражаемых объектов, в качестве которых рассматриваются производственные здания, технологическое оборудование [табл.18, приложение Д.2] и персонал предприятия (нижним порогом повреждения человека волной давления считается избыточное давление во фронте ударной волны в 5 кПа).

Методика оценки масштабов заражения воздуха при выбросе из технологических аппаратов токсичных продуктов приведена в работе [2].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1.ГОСТ Р 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
- 2.Безопасность жизнедеятельности: методические разработки для практических занятий /сост. В.И.Якимов, Л.В.Тагиева, В.Е.Гусев.- СПб.: СПбГТУРП, 1998.
- 3.Экспертиза взрывоопасности производственных объектов целлюлозно-бумажной промышленности и проектирование средств локализации аварий: методическое пособие для курсового проектирования по дисциплине «Безопасность в отрасли» / сост. В.И.Якимов, Л.В.Тагиева.- СПб.: СПбГТУРП, 2004.
- 4.Диагностика опасности взрывоопасных технологических процессов целлюлозно-бумажного производства и проектирование средств локализации аварий: методические указания для курсовой работы по дисциплине «Основы безопасности систем и процессов» / сост. В.И.Якимов. - СПб.: СПбГТУРП, 1993.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| Введение.....   | 3  |
| 1. Характеристики разрушительного воздействия аварий на химико-технологических объектах.....                      | 3  |
| 2. Количественные оценки разрушительного действия аварий на пожаро- и взрывоопасных технологических объектах..... | 7  |
| 3. Характеристики и оценки аварий на химически опасных объектах.....  | 17 |
| 4. Прогнозирование разрушительного потенциала на химико-технологическом объекте.....                              | 23 |
| Библиографический список.....   | 26 |

Якимов Владислав Иванович  
Протодяконов Игорь Орестович

**ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ  
НА ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ**

Методические разработки для изучения  
раздела «Чрезвычайные ситуации»  
общепрофессиональной дисциплины  
«Безопасность жизнедеятельности»

Редактор и техн. редактор Титова Л.Я.

---

Подп. к печати 01.06.10    Формат 60x84/16. Бумага тип. №1.  
Печать офсетная. Объем 1,75 печ. л.; 1,75 уч.-изд. л. Тираж 50 экз.  
Изд. № 74. Цена «С». Заказ

---

Ризограф ГОУВПО Санкт-Петербургского государственного  
технологического университета растительных полимеров, 198095, Санкт-  
Петербург, ул. Ивана Черных, 4.