

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.06 Оценка риска и расчет последствий аварий на производственных объектах

Направление подготовки (специальность) 20.04.01 "Техносферная безопасность"

Профиль образовательной программы Система управления рисками ЧС

Форма обучения заочная

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Конспект лекций .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Лекция №1</b> Чрезвычайные ситуации их характеристики.....	3
<b>1.2 Лекция №2</b> Моделирование последствий аварий на промышленных объектах, обусловленных взрывами.....	10
<b>2. Методические указания по выполнению лабораторных работ.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Лабораторная работа №ЛР1</b> Моделирование последствий аварий на промышленных объектах, обусловленных взрывами.....	15
<b>2.2 Лабораторная работа №ЛР2</b> Моделирование последствий аварий на промышленных объектах, обусловленных пожарами.....	15
<b>2.3 Лабораторная работа №ЛР3</b> Построение полей потенциального риска при авариях на опасных производственных объектах .....	16
<b>2.4 Лабораторная работа №Л4</b> Расчет индивидуального (потенциального) риска в условиях техногенных ЧС.....	16

# 1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

## 1.1 Лекция №1 (2 часа)

**Тема: «Чрезвычайные ситуации их характеристики»**

### 1.1.1 Вопросы лекции:

1. Общие сведения о ЧС.
2. Негативные факторы воздействия ЧС на окружающую среду и человека.
3. Причины возникновения ЧС.
4. Классификация объектов экономики по опасности.
5. Классификация ЧС.

### 1.1.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Общие сведения о ЧС

Развитие техногенной сферы привело к двум диаметрально противоположным последствиям:

- с одной стороны, достигнуты выдающиеся результаты в электронной, атомной, авиационной, химической и других отраслях промышленности, что обеспечило новый уровень качества жизни;
- с другой стороны, появились невиданные ранее потенциальные и реальные опасности и угрозы человеку, среде обитания не только в военное, но и в мирное время.

Эти угрозы осознаны в последние десятилетия XX столетия в связи с крупнейшими катастрофами: ядерные (Чернобыль-ущерб 400 млрд. долларов США, Тримайл Айленд - 100 млрд. долларов США); химические (Индия, Италия); космические и авиационные (Челенджер, Колумбия); военно-технические - подводная лодка «Курск»; гидротехнические - (Саяно-Шушенская ГЭС).

В стране насчитывается 45 тыс. потенциально опасных промышленных объектов (среди них более 3,6 тыс. объектов, содержащих свыше 1 млн. т высокотоксичных, в том числе экологически опасных химических веществ и материалов; более 8 тыс. взрыво- и пожароопасных объектов; свыше 30 тыс. водохранилищ и накопителей экологически опасных промышленных стоков и отходов, многие из которых находятся в аварийном или угрожающем состоянии).

К объектам повышенной экологической опасности относятся радиационно опасные объекты (10 атомных электростанций (АЭС) с 30 ядерными энергетическими установками; 9 атомных судов гражданского назначения с 15 ядерными энергетическими установками; около 30 научно-исследовательских организаций со 113 исследовательскими ядерными установками; 12 предприятий ядерного топливного цикла; 16 региональных специализированных комбинатов по переработке и захоронению радиоактивных отходов; более 150 выведенных из эксплуатации атомных подводных лодок ВМФ с ядерными реакторами на борту, среди которых лишь у 30% выгружены активные зоны, а у многих атомных подводных лодок нарушена герметичность. (Для справки: по количеству энергоблоков Россия занимает 5-е место в мире после США, Франции, Японии, и Великобритании, по выработке электроэнергии на АЭС-5 место в мире, а по уровню безопасности -2-е место в мире после Японии).

На территории России эксплуатируются системы магистральных трубопроводов протяженностью более 200 тысяч км, имеющих около 6000 технически сложных наземных объектов повышенной опасности: компрессорные, насосные и газораспределительные станции, резервуарные парки. В Оренбургской области длина магистрального трубопроводного транспорта составляет более 6000 км.

Для объектов с исключительно высокой потенциальной опасностью частота возникновения ЧС с тяжелыми последствиями может составить:

- по атомным реакторам -  $1 \cdot 10^{-3}$  1/год;
- ракетно-космическим системам -  $5 \cdot 10^{-3}$  1/год;
- турбогенераторам -  $3 \cdot 10^{-3}$  1/год;
- самолетам -  $5 \cdot 10^{-3}$  1/год;
- трубопроводам (1000 км) -  $5 \cdot 10^{-3}$  1/год;

В России показатели риска тяжелых ЧС на 2-3 порядка выше показателей рисков, достигнутых в наиболее развитых странах.

В настоящее время и обозримом будущем в качестве одной из основных проблем будет проблема обеспечения безопасности человека. При этом под безопасностью понимается ликвидация или уменьшения до приемлемого уровня всех опасностей, которые могут действовать на человека.

В соответствии законом РФ «О безопасности» безопасность-это состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от внешних и внутренних угроз.

В законе о «Техническом регулировании» №184 от 2002г. вводится понятие безопасности: как состояние процесса производства, хранения, транспортировки при котором отсутствует недопустимый риск нанесения ущерба здоровью, жизни человека, животных, растений, окружающей среде, потерь материальных ценностей физических и юридических лиц.

Безопасность в ЧС - состояние защищенности населения, объектов экономики и окружающей среды от опасностей в ЧС.

Актуальность задачи обеспечения безопасности связана с наличием в природной и социальной сферах обитания человека постоянных и разнообразных опасностей.

Наиболее общее определение опасности, как центрального понятия в безопасности жизнедеятельности, состоит в следующем: опасность - негативное свойство живой и неживой материи, способное причинять ущерб самой материи, людям, природной среде, материальным ценностям.

В более узком смысле опасность- это потенциальная возможность вызвать вред, принести несчастье, которая может реализоваться или нет. Реализованная опасность представляет собой реальное негативное событие- стихийное бедствие, авария, катастрофа и т.п.

Негативное событие, как следствие реализовавшейся опасности и ставшее причиной возникновения ЧС, принято называть источником ЧС. Согласно ГОСТа Р22.0.02-94 источник ЧС—это опасное природное явление, авария или опасное техногенное происшествие, широко распространенная инфекционная болезнь людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также применение современных средств поражения, в результате чего произошла или может возникнуть ЧС.

Опасность всегда выражается через связь (действие) двух сторон. Одна из них субъекты опасности (природные явления, техногенные процессы, движущиеся или иные материальные объекты, негативные, ошибочные намерения) — источники, носители опасности. Другая сторона - объекты опасности (люди, материальные объекты, объекты природы) - является потенциально пострадавшей стороной (жертвой). Условно опасность представляется в виде вызовов и угроз. Вызов-совокупность обстоятельств, порождающих гипотетическую опасность, которая в перспективе может превратиться в угрозу. Угроза-совокупность предпосылок, обстоятельств, обуславливающих непосредственную опасность возникновения стихийных бедствий, катастроф, эпидемий и т.д. Поскольку границы между понятиями «Вызов», «Угроза» условны, то имеются трудности четкого их разделения. Наиболее распространенная форма опасности - Угроза.

Мерой опасности (количественной характеристикой) является риск. В широком смысле под риском понимают измеренную возможность (вероятность) реализации

опасности; потенциальную опасность получения нежелательных (негативных) результатов. В рамках статистического подхода риск сочетает в себе вероятность неблагоприятного события и объем негативных последствий события (потери, ущерб).

$$R = \lambda \cdot (\Delta t) \cdot \bar{W},$$

где R-показатель риска (ущерб/время);

$\lambda$  - частота событий (событие/время); усредненная частота за некоторый период наблюдения, приведенная к интервалу времени  $\Delta t$ . (обычно год);

$\bar{W}$  -средний ущерб при реализации опасного события (ущерб/событие);

В зависимости от основной причины возникновения риска различают: природный (проявление природных сил природы), техногенный (опасности техносферы), экологический (опасности загрязнения ОС), коммерческие (опасности финансово-хозяйственной деятельности).

При управлении безопасностью используют понятие риска:

- индивидуальный (риск, которому подвергается индивидуум от тех или иных опасностей);

- потенциальный территориальный (пространственное распределение частоты реализации негативного воздействия определенного уровня);

- социальный риск (зависимость частоты событий, в которых пострадало на определенном уровне число людей больше определенного, от этого определенного числа;

- коллективный риск - ожидаемое (математическое ожидание) число смертельно травмированных за определенный период времени (обычно год);

- приемлемый риск - уровень риска, с которым общество готово мириться ради получения определенных благ или выгод от своей деятельности.

## 2. Негативные факторы воздействия ЧС на окружающую среду и человека.

Угроза выживания человечества связана с состоянием окружающей среды, которая быстро деградирует под натиском человеческой деятельности. В процессе своей экономической деятельности человек, создавая «условия существования» для себя самым разрушительным способом воздействует на окружающую его природу.

Несмотря на усилия и огромные затраты, направленные на предотвращение агрессивных последствий антропогенного воздействия на природу, общий тренд неблагоприятных изменений сохраняется. Наряду с местным загрязнением, антропогенное воздействие на атмосферу может иметь крупные региональные и даже глобальные последствия:

- кислотные осадки,
- парниковый эффект,
- нарушение озонового экрана.

Кислотные осадки – это любые атмосферные осадки - дожди, туманы, снег – кислотность которых выше нормальной. В отдельных регионах выпадают осадки, кислотность которых в 10 -1000 раз превышает норму.

В пресноводных озёрах и ручьях и прудах pH воды обычно 6-7 , и организмы адаптированы именно к этому уровню. При кислой среде погибают яйцеклетки, сперма и молодь водных обитателей.

Многие пищевые цепи, охватывающие почти всех водных животных начинаются в водоёмах. Поэтому происходит сокращение популяций птиц, питающихся рыбой или насекомыми, личинки которых развиваются в воде. Кислотные осадки вызывают деградацию лесов, разрушая защитный покров, делая растения более уязвимыми для насекомых, грибов, и других патологических организмов. В почве кислотные осадки выщелачивают биогены, и почва теряет плодородность.

Под образным выражением «парниковый эффект» подразумевается следующее геофизическое явление: солнечная радиация попадая на землю трансформируется 30% её отражается в космос, остальные 70% поглощаются поверхностью суши и океана. Поглощённая энергия солнечной радиации преобразуется в теплоту и отражается обратно в космос в виде инфракрасных лучей. Чистая атмосфера прозрачна для инфракрасных лучей, а атмосфера, содержащая пары воды, углекислый газ и некоторые другие газы, поглощает инфракрасные лучи, благодаря чему воздух нагревается.

Естественный парниковый эффект создаёт прирост средней температуры на 30 градусов С. Именно этот процесс рассматривают как тенденцию, которая может привести к глобальному потеплению климата. Ожидается, что в середине 20 века количество углекислоты в атмосфере удвоится и температура возрастёт на 2-3 градуса в умеренных широтах, а на полюсах более, чем на 10 градусов.

Это вызовет таяние полярных льдов. В океан дополнительно поступит такое количество воды, что уровень океана поднимется на 100 метров, а это вызовет обширное затопление суши. Изменится циркуляция воздуха и перенос им тепла и влажности. В большинстве районов, характеризующихся жарким, сухим климатом, количество атмосферных осадков увеличится, а в умеренном поясе станет суше.

Наблюдения с искусственных спутников Земли показали, что ежегодно в течение месяца над Антарктидой количество атмосферного озона уменьшается на 60%, а по сравнению с 1959 годом уровень озона сократился на 40% «Дыра» занимает площадь приблизительно равную площади территории США, она появляется в октябре и исчезает в ноябре.

Первооткрыватель озоновой дыры исследователь британской арктической службы Д. Чарльз Фарман.

С ростом ультрафиолетовой радиации связаны увеличение заболеваний глаз и онкологических заболеваний у людей, возникновение мутаций у многих растений, уменьшение продуктивности фитопланктона- основного корма рыб и морских организмов. Считается, что озоновый слой разрушают фторхлоруглеводороды, которые используются для холодильников, аэрозолей и в других промышленных целях человеком

В РФ за последние пять лет, концентрация озона сократилась на 4-6% зимой и 3% летом. Причина разрушения озонового слоя до конца не установлена. Весной 1987 г. озоновая дыра над Антарктидой по результатам космических снимков достигла 7 млн. квадратных километров. В марте 1995 г. озоновый слой стал ещё тоньше на 50% и появились мини-дыры над Северными районами Канады и Скандинавским полуостровом. По данным ВОЗ, уменьшение содержания в атмосфере озона на 1% (что соответствует росту УФО излучения на 2%) приводит к онкологическим заболеваниям, снижению иммунитета. В 1995 г. исполнилось 10 лет со дня принятия Конвенции по защите озонового слоя от воздушных антропогенных выбросов фреона.

### 3. Причины возникновения ЧС.

Возникновение техногенных ЧС обусловлено множеством причин, которые подразделяются на 3 класса :

- опасные внешние воздействия;
- нарушения в оборудовании, сооружениях и технологических процессах;
- ошибки эксплуатации.

Опасные внешние воздействия по отношению к объекту являются внешними угрозами. К внутренним угрозам объекта относятся надежность оборудования и уровень эксплуатации объекта.

Прямой материальный ущерб связан с разрушениями, повреждениями сооружений, оборудования находящегося в зоне действия поражающих факторов ЧС.

Возмещение убытков потребителей, недовыпуск продукции относится к так называемому косвенному ущербу.

Источниками природных ЧС являются практически все виды природных явлений и процессов геологического гидрологического и метеорологического характера. Наиболее частые природные явления и процессы – это наводнения, ураганы, бури, землетрясения, склонные процессы (оползни, селевые потоки, снежные лавины) т. е. высокоскоростные природные явления с катастрофическими последствиями.

Потенциально опасные объекты по характеру возможных ЧС на этих объектах подразделяются на шесть групп.

1 группа – Радиационно опасные объекты (РАОО) при авариях на которых могут произойти массовые радиационные выбросы, поражения людей, животных, растений, а также радиационное загрязнение территорий. К РАОО относятся предприятия ядерного цикла, организации, имеющие исследовательские и экспериментальные реакторы и др.

2 группа – Химически опасные объекты (ХОО) при авариях на которых могут произойти массовые поражения людей, животных, растений, а также загрязнение территорий сильно действующими ядовитыми веществами. К ХОО относятся предприятия по производству, переработке, хранению и утилизации химически опасных веществ. К ХОО относятся производство связанного азота (аммиак, азотная кислота, удобрения), целлюлозы, органических растворителей и масел, ртути, производство нефтяного газа в количестве более 5000м<sup>3</sup>/... и по переработки нефти и др.

3 группа – Пожароопасные объекты (ПОО), на которых производятся, хранятся транспортируются взрывоопасные продукты или вещества, способные к возгоранию и взрыву. Все пожаровзрывоопасные объекты (ПВОО) подразделяются на несколько категорий. Наибольшую опасность представляют объекты: категории А (нефтеперерабатывающие заводы, химические предприятия, трубопроводы и склады нефтепродуктов), категории Б – цеха по приготовлению и транспортировке угольной пыли, древесной муки, сахарной пудры.

4 группа – Биологически опасные объекты (БОО) при авариях на которых возможны массовые поражения флоры и фауны, а также загрязнения территорий биологически опасными веществами. К БОО относятся предприятия по изготовлению белков (дрожжи, белковые препараты), антибиотики, витамины т.е. физиологически активные вещества, органические кислоты (лимонная, уксусная), бактериальные препараты.

5 группа - Гидродинамические опасные объекты, при разрушении которых возможно образование волны прорыва и затопление больших территорий. К ним относятся гидротехнические сооружения: плотины, дамбы, напорные бассейны, гидроаккумулирующие электростанции и т.д.

О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера  
Постановление Правительства Российской Федерации от 21 мая 2007г. №304

Критерии ЧС Вид ЧС	Количество пострадавших	Материальный ущерб	Зона чрезвычайной ситуации
Локальная	не более 10 человек	не более 100 тыс. рублей	не выходит за пределы территории объекта
Муниципальная	не более 50 человек	не более 5 млн. рублей	не выходит за пределы территории одного поселения или внутригородской территории города федерального значения
Межмуниципальная	не более 50 человек	не более 5 млн. рублей	территория двух и более поселений, внутригородских

			территорий города федерального значения или межселенную территорию
Региональная	свыше 50 но не более 500 человек	свыше 5 но не более 500 млн. рублей	не выходит за пределы территории одного субъекта РФ
Межрегиональная	свыше 50 но не более 500 человек	свыше 5 но не более 500 млн. рублей	территория двух и более субъектов РФ
Федеральная	свыше 500 человек	свыше 500 млн. рублей	

6 группа – объекты жизнеобеспечения предприятий и населенных пунктов, аварии на которых могут привести к катастрофическим последствиям, вызвать загрязнение территорий. К ним относятся объекты энергетических систем, коммунального хозяйства (канализация, водоснабжение, газоснабжение, очистные сооружения), транспортные коммуникации. Согласно ФЗ №116 от 2003г. «О промышленной безопасности» к категории опасных производственных объектов относятся предприятия, на которых:

- получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются следующие опасные вещества: воспламеняющиеся, окисляющие, горючие, взрывчатые, токсичные, высокотоксичные и вещества, представляющие опасность для ОС. При этом характеристики указанных выше веществ, должны находиться в пределах, оговоренных в нормативно-правовых документах;

- используется оборудование, работающее под давлением более 0,07МПа или при температуре нагрева воды более 115<sup>0</sup>С;

- используется стационарно устанавливаемые грузоподъемные механизмы, эскалаторы, канатные дороги;

- получаются расплавы черных и цветных металлов и сплавов на основе этих металлов;

- ведутся горные работы, работы по обогащению полезных ископаемых, а также работы в подземных условиях.

#### 4. Классификация объектов экономики по опасности.

В соответствии с Федеральным законом № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» опасными производственными объектами являются предприятия или их цехи, участки, а также иные производственные объекты, на которых:

а) получают, используют, перерабатывают, образуют, хранят, транспортируют, уничтожают следующие опасные вещества:

- воспламеняющиеся вещества — газы, которые при нормальном давлении и в смеси с воздухом становятся воспламеняющимися и температура кипения которых при нормальном давлении составляет 20 °С или ниже;

- окисляющие вещества — поддерживающие горение, вызывающие воспламенение и (или) способствующие воспламенению других веществ в результате окислительно-восстановительной экзотермической реакции;

- горючие вещества — жидкости, газы, пыли, способные самовозгораться, а также возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления;

- взрывчатые вещества — при определенных видах внешнего воздействия способные на очень быстрое самораспространяющееся химическое превращение с выделением тепла и образованием газов;

- токсичные вещества — способные при воздействии на живые организмы привести к их



гибели и имеющие следующие характеристики: средняя смертельная доза при введении в желудок — от 15 до 200 мг/кг, при нанесении на кожу — от 50 до 400 мг/кг, средняя смертельная концентрация в воздухе — от 0,5 до 2 мг/л;

- высокотоксичные вещества — способные при воздействии на живые организмы привести к их гибели и имеющие следующие характеристики: средняя смертельная доза при введении в желудок — не более 15 мг/кг, при нанесении на кожу — не более 50 мг/кг, средняя смертельная концентрация в воздухе — не более 0,5 мг/л;
- вещества, представляющие опасность для окружающей природной среды (ОПС) и характеризующиеся в водной среде следующими показателями острой токсичности: средняя смертельная доза при ингаляционном воздействии на рыбу в течение 96 ч — не более 10 мг/л; средняя концентрация яда, вызывающая определенный эффект при воздействии на дафнии в течение 48 ч, — не более 10 мг/л; средняя ингибирующая концентрация при воздействии на водоросли в течение 72 ч — не более 10 мг/л;

б) используют оборудование, работающее под давлением более 0,07 МПа или при температуре нагрева воды более 115 °С;

в) применяют стационарно установленные грузоподъемные механизмы, эскапаторы, канатные дороги, фуникулеры;

г) получают расплавы черных и цветных металлов и сплавы на основе этих расплавов;

д) ведут горные работы, работы по обогащению полезных ископаемых, а также работы в подземных условиях.

Для опасных производственных объектов (ОПО) обязательно лицензирование деятельности, сертификация применяемых технических устройств на соответствие требованиям промышленной безопасности, страхование ответственности за причинение вреда жизни, здоровью или имуществу других лиц и ОПС в случае аварии и декларирование промышленной безопасности.

#### 5. Классификация ЧС

Чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера по масштабу подразделяются на:

а) чрезвычайную ситуацию локального характера, в результате которой территория, на которой сложилась чрезвычайная ситуация и нарушены условия жизнедеятельности людей (далее - зона чрезвычайной ситуации), не выходит за пределы территории объекта, при этом количество людей, погибших или получивших ущерб здоровью (далее - количество пострадавших), составляет не более 10 человек либо размер ущерба окружающей природной среде и материальных потерь (далее - размер материального ущерба) составляет не более 100 тыс. рублей;

б) чрезвычайную ситуацию муниципального характера, в результате которой зона чрезвычайной ситуации не выходит за пределы территории одного поселения или внутригородской территории города федерального значения, при этом количество пострадавших составляет не более 50 человек либо размер материального ущерба составляет не более 5 млн. рублей, а также данная чрезвычайная ситуация не может быть отнесена к чрезвычайной ситуации локального характера;

в) чрезвычайную ситуацию межмуниципального характера, в результате которой зона чрезвычайной ситуации затрагивает территорию двух и более поселений, внутригородских территорий города федерального значения или межселенную территорию, при этом количество пострадавших составляет не более 50 человек либо размер материального ущерба составляет не более 5 млн. рублей;

г) чрезвычайную ситуацию регионального характера, в результате которой зона чрезвычайной ситуации не выходит за пределы территории одного субъекта Российской Федерации, при этом количество пострадавших составляет свыше 50 человек, но не более 500 человек либо размер материального ущерба составляет свыше 5 млн. рублей, но не более 500 млн. рублей;

д) чрезвычайную ситуацию межрегионального характера, в результате которой зона чрезвычайной ситуации затрагивает территорию двух и более субъектов Российской Федерации, при этом количество пострадавших составляет свыше 50 человек, но не более 500 человек либо размер материального ущерба составляет свыше 5 млн. рублей, но не более 500 млн. рублей;

е) чрезвычайную ситуацию федерального характера, в результате которой количество пострадавших составляет свыше 500 человек либо размер материального ущерба составляет свыше 500 млн. рублей.

## **1.2 Лекция №2 (2 часа)**

**Тема: «Моделирование последствий аварий на промышленных объектах, обусловленных взрывами»**

### **1.2.1 Вопросы лекции:**

1. Общие сведения.
2. Взрывы конденсированных взрывчатых веществ.
3. Взрывы технологических систем со сжатыми негорючими газами и перегретыми жидкостями.
4. Взрыв парогазовоздушной смеси в неограниченном пространстве.

### **1.2.2 Краткое содержание вопросов:**

#### **Общие сведения**

В результате реализации опасности на промышленном объекте образуются поражающие факторы (ПФ) для персонала, населения, окружающей среды и самого объекта. Анализ последствий реальных аварий в промышленности позволяет определить наиболее характерные ПФ [2, 9, 10, 11, 13]. К ним относятся:

- воздушная ударная волна (УВ) взрывов облаков топливовоздушных смесей (ТВС) и конденсированных взрывчатых веществ (ВВ);
- тепловое излучение огневых (огненных) шаров и горящих разливов;
- токсические нагрузки;
- фрагменты, образующиеся при разрушении зданий, сооружений, технологического оборудования;
- осколки остекления.

Построение полей ПФ - сложная и трудоемкая научно-техническая задача. Ее решению посвящено значительное число научных работ, существует также ряд утвержденных различными ведомствами методик.

Особенности возникновения и развития аварий на складах нефти и нефтепродуктов показали, что при моделировании физических процессов, протекающих при авариях, должны учитываться следующие явления:

- истечение из отверстия в резервуаре;
- растекание жидкости при квазигмновенном разрушении резервуара;
- испарение жидкости из пролива;
- образование топливовоздушного облака;
- взрыв топливовоздушной смеси в резервуаре или производственном помещении;
- факельное горение струи жидкости;
- вскипание и выброс горячей жидкости при пожаре (boilover). Кроме того, при моделировании развития аварий на складах нефти и нефтепродуктов необходимо оценивать:

- массу горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения аварийных ситуаций;
  - максимальные размеры взрывоопасных зон;
  - избыточное давление в ударной волне при взрыве паровоздушного облака;
  - избыточное давление в ударной волне при взрыве резервуара с перегретой ЛВЖ (ГЖ) в очаге пожара;
  - интенсивности теплового излучения;
  - разлет осколков при взрывном разрушении технологического оборудования.
- Взрывы конденсированных взрывчатых веществ

Пожары и взрывы представляют собой явления, в результате которых исходное вещество переходит в качественно новое состояние. Схожесть этих процессов заключается в преобразовании энергии межмолекулярных и межатомных связей в энергию меньшего уровня, принимающие форму тепловой и кинетической, и образовании веществ, плотность которых гораздо меньше первоначальной. Процессы, лежащие в основе пожаров, только химические, а в основе взрывов — и химические, обусловленные реакцией окисления, и физические. При этом для пожаров характерны только диффузионные реакции, а для взрывов газопаровоздушных (ГПВС) и пылевоздушных смесей (ПЛВС) — только кинетические. Обычно под горением понимается самоускоряющееся быстрое химическое превращение, сопровождающееся интенсивным выделением тепла и света. Это определение не универсально. Существует целый класс химических реакций, протекающих с так называемым холодным пламенем и умеренной скоростью. Однако холодное пламя возникает лишь в особых условиях и интересует нас лишь постольку, поскольку возможен его переход в обычное горячее пламя. Соответственно, пламенем (горячим) называется газообразная среда, в которой интенсивная химическая реакция приводит к свечению, выделению тепла и саморазогреву..

Горение — это быстрое окисление кислородом (содержащимся в воздухе или чистым) горючих веществ — угля, жидких нефтяных продуктов, газообразных углеводородов и т. д. Однако химические превращения, соответствующие горению, не ограничиваются процессами соединения с кислородом. В горючих смесях различают горючее и окислитель. Окислителем при горении могут быть также оксиды азота, галоиды, озон. Кроме того, известны процессы горения, в которых участвует только один исходный продукт, способный к быстрому распаду, например, ацетилен ( $C_2H_2$ ), взрывчатые вещества, пороха.

Конденсированные взрывчатые вещества. Под конденсированными взрывчатыми веществами (КВВ) понимаются химические соединения или смеси, находящиеся в твердом или жидком состоянии, которые под влиянием определенных внешних условий способны к быстрому самораспространяющемуся химическому превращению с образованием сильно нагретых и обладающих большим давлением газов, которые, расширяясь, производят механическую работу. Такое химическое превращение ВВ принято называть взрывчатым превращением.

Взрывчатое превращение в зависимости от свойств взрывчатого вещества и вида воздействия на него может протекать в виде взрыва или горения. Взрыв распространяется по взрывчатому веществу с ооольшон переменной скоростью, измеряемой сотнями или тысячами метров в секунду. Процесс взрывчатого превращения, обусловленный прохождением ударной волны по взрывчатому веществу и протекающий с постоянной (для данного вещества при данном его состоянии) сверхзвуковой скоростью, называется детонацией. В случае снижения качеств ВВ (увлажнение, слеживание) или недостаточного начального импульса детонация может перейти в горение или совсем затухнуть - такая детонация называется неполной. Горение КВВ — это процесс взрывчатого превращения, обусловленный передачей энергии от одного слоя взрывчатого

вещества к другому путем теплопроводности и излучения тепла газообразными продуктами. Процесс горения ВВ (за исключением инициирующих веществ) протекает сравнительно медленно, со скоростями, не превышающими нескольких метров в секунду. Скорость горения в значительной степени зависит от внешних условий, и в первую очередь от давления в окружающем пространстве: с увеличением давления скорость горения возрастает, при этом в некоторых случаях горение может перейти во взрыв. Горение бризантных ВВ в замкнутом объеме, как правило, переходит в детонацию.

Возбуждение взрывчатого превращения ВВ называется инициированием. Для возбуждения взрывчатого превращения ВВ требуется сообщить ему с определенной интенсивностью необходимое количество энергии (начальный импульс), которая может быть передана одним из следующих способов:

- механическим (удар, накол, трение);
- тепловым (искра, пламя, нагревание);
- электрическим (нагревание, искровой разряд);
- химическим (реакции с интенсивным выделением тепла);

взрывом другого заряда ВВ (взрыв капсюля-детонатора или соседнего заряда). Все ВВ, применяемые в производстве, делятся на три основные группы: инициирующие, бризантные, метательные.

3. Взрывы технологических систем со сжатыми негорючими газами и перегретыми жидкостями

В большинстве случаев техногенные аварии связаны с неконтролируемым, самопроизвольным выходом в окружающее пространство вещества и/или энергии. Самопроизвольное высвобождение энергии приводит к промышленным взрывам, а вещества — к взрывам, пожарам и химическому загрязнению окружающей среды. Взрыв — процесс быстрого неуправляемого физического или химического превращения системы, сопровождающийся переходом ее потенциальной энергии в механическую работу. Механическая работа, совершаемая при взрыве, обусловлена быстрым расширением газов или паров независимо от того, существовали ли они до взрыва или образовались во время взрыва. В основе взрывного процесса могут лежать как физические (разрушение сосуда со сжатым газом или с перегретой жидкостью), так и химические превращения (детонация конденсированного взрывчатого вещества, быстрое сгорание газового облака). Самым существенным признаком взрыва является резкий скачок давления в среде, обуславливающий образование ударной волны, распространяющейся на некоторое расстояние от места взрыва. Избыточное давление в её фронте и осколочные поля, создаваемые летящими обломками и осколками взрывающихся объектов являются основными поражающими факторами взрыва. Осколочные поля характеризуются количеством летящих осколков, их кинетической энергией и радиусом разлёта. При химических взрывах взрывчатые вещества могут быть твердыми, жидкими, газообразными, а также аэрозольными горючих веществ (жидких и твердых) в окислительной среде (часто в воздухе). Твердые и жидкие взрывчатые вещества в большинстве случаев относятся к классу конденсированных взрывчатых веществ (ВВ). При инициировании взрыва в этих веществах с огромной скоростью протекают экзотермические окислительно-восстановительные реакции или реакции термического разложения с выделением тепловой энергии. Газообразные взрывчатые вещества представляют собой однородные смеси горючих газов (паров) с газообразными окислителями — воздухом, кислородом, хлором и др. Взрывоопасные аэрозоли состоят из мелкодисперсных частиц горючих жидкостей (туманов) или твердых веществ (пылей) в окислительной среде, чаще всего в воздухе. Физический взрыв чаще всего связан с неконтролируемым высвобождением потенциальной энергии сжатых газов из замкнутых объемов машин и аппаратов. Сила взрыва сжатого или сжиженного газа зависит от внутреннего давления, а разрушения

вызываются ударной волной от расширяющегося газа (пара) и осколками разорвавшегося резервуара.

Параметрами, определяющими мощность взрыва, являются энергия взрыва и скорость ее выделения. Энергия взрыва определяется физико-химическими превращениями, протекающими при различных типах взрывов. Для парогазовых сред энергию взрыва определяют по теплоте сгорания горючих веществ в смеси с воздухом; конденсированных ВВ — по теплоте, выделяющейся при их детонации (реакции разложения); при физических взрывах систем со сжатыми газами и перегретыми жидкостями - по энергии адиабатического расширения парогазовых сред и перегрева жидкости. В производственных условиях возможны следующие основные виды взрывов: свободный воздушный, наземный, взрыв в непосредственной близости от объекта, а также взрыв внутри объекта (производственного сооружения). При воздушном взрыве ударная сферическая волна достигает земной поверхности и отражается от нее. На некотором расстоянии от эпицентра взрыва (проекции центра взрыва на земную поверхность) фронт отраженной волны сливается с фронтом падающей, вследствие чего образуется так называемая головная волна с вертикальным фронтом, распространяющаяся от эпицентра вдоль земной поверхности. Характер воздушной ударной волны при наземном взрыве (за пределами воронки) соответствует дальней зоне воздушного взрыва. Таким образом, как при воздушном, так и при наземном взрывах обычно рассматривают воздушную ударную волну, распространяющуюся от эпицентра с вертикальным фронтом. При подходе ударной волны к преграде она отражается и происходит торможение масс движущегося воздуха, что приводит к повышению избыточного давления в 2...8 раз. После начального взаимодействия с преградой (препятствием) ударная волна начинает его обтекать и под действием давления уже попадают боковые и тыльные поверхности преграды. Она как бы оказывается в сжатом состоянии со всех сторон, однако наибольшее давление оказывается на фронтальную часть препятствия. Категорирование технологических объектов по взрывоопасности производится по значениям показателей  $Q_v$  и  $W$ . Относительный энергетический потенциал взрывоопасности технологического блока (оборудования)  $Q_v = (16,534)^{-1} E^{1/3}$ . Энергетический эквивалент взрыва тротила  $W = E/4520$  кг, где  $E$  — полная энергия взрыва.

По этим показателям технологические объекты подразделяются на три категории:

Категория взрывоопасности	$Q_v$	$W$ , кг
I	$> 37$	$> 5000$
II	$27...37$	$2000...5000$
III	$< 27$	$< 2000$

Взрыв парогазовоздушной смеси в неограниченном пространстве

Парогазовоздушное (ПГВ) облако образуется при авариях в системах переработки, транспортировки и хранения перегретых жидкостей и сжатых газов, а также при испарении разлившейся горючей жидкости (нефть, бензин и т.п.).

При аварии агрегата, содержащего горючие жидкости или газы, принимается, что все содержимое аппарата поступает в окружающее пространство и одновременно происходит утечка вещества из подводящего и отводящего трубопроводов в течение времени, необходимого для отключения трубопроводов (табл. 5.24).

Таблица 5.24

Расчетное время отключения трубопроводов

Характеристика системы автоматики	Расчетное время отключения, с
Вероятность отказов менее 10 <sup>-6</sup> год <sup>-1</sup> или обеспечено	Менее 120

резервирование ее элементов	
Вероятность отказов более 10 <sup>-6</sup> год <sup>-1</sup> или не обеспечено резервирование ее элементов	120
Ручное отключение	300

Масса газа  $m_r$  (кг), поступившего в окружающее пространство при аварии аппарата, равна

$$m_r = (V_a + V_r) \rho_r,$$

где  $V_a = 0,01 P_1 V_1$  - объем газа, вышедшего из аппарата, м<sup>3</sup>;  $P_1$  - давление в аппарате, кПа;  $V_1$  - объем аппарата, м<sup>3</sup>;  $V_r = V_{r1} + V_{r2}$  - объем газа, вышедшего из трубопровода, м<sup>3</sup>;  $V_{r1} = Q\tau$  - объем газа, вышедшего из трубопровода до его отключения, м<sup>3</sup>;  $Q$  - расход газа, определяемый в соответствии с технологическим регламентом в зависимости от давления в трубопроводе, его диаметра, температуры газа и т.п., м<sup>3</sup>/с;  $\tau$  -

время, определяемое по табл. 5.24;  $V_{r2} = 0,01 \pi P_2 \sum_{i=1}^n r_i^2 L_i$  - объем газа, вышедшего из трубопровода после его отключения, м<sup>3</sup>;  $P_2$  - максимальное давление в трубопроводе по технологическому регламенту, кПа;  $r_i$  - внутренний радиус  $i$ -го участка трубопровода, м;  $L_i$  - длина  $i$ -го участка трубопровода от аварийного аппарата до задвижек, м;  $n$  - число поврежденных участков трубопровода;  $\rho_r$  - плотность паров газа, кг/м<sup>3</sup>.

При аварии аппарата с жидкостью часть жидкости может находиться в виде пара, вырывающегося при аварии в окружающее пространство, образуя первичное облако. Оставшаяся часть жидкости разливается либо внутри обваловки (поддона), либо на грунте с последующим испарением с зеркала разлива с образованием вторичного облака.

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

### **2.1 Лабораторная работа №1 (2 часа)**

**Тема: «Моделирование последствий аварий на промышленных объектах, обусловленных взрывами.»**

**2.1.1 Цель работы:** Получить навыки работы с ПК ТОКСИ+RISK.

**2.1.2 Задачи работы:**

1. Изучить интерфейс программного комплекса.
2. Ознакомиться с возможностями программного комплекса.

**2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Персональный компьютер.

**2. ПК ТОКСИ+RISK**

**2.1.4 Описание (ход) работы:**

1. Запуск управляющей оболочки
2. Главное окно приложения. Главное меню.
3. Основное окно приложения. Панель кнопок быстрого доступа.
4. Главное окно приложения. Панель инструментов.
5. Главное окно приложения. Панель управления.
6. Инструмент работы с БД.

### **2.2 Лабораторная работа №2 (2 часа)**

**Тема: «Моделирование последствий аварий на промышленных объектах, обусловленных пожарами»**

**2.2.1 Цель работы:** Определить степеней поражения человека и разрушения объектов в результате негативного воздействия ударной воздушной волны

**2.2.2 Задачи работы:**

1. Изучить методику оценки степеней поражения человека и разрушения объектов в результате негативного воздействия ударной воздушной волны.
2. Рассчитать степень поражения человека в результате негативного воздействия ударной воздушной волны.
3. Оценить степень разрушения объектов в результате негативного воздействия ударной воздушной волны.

**2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Персональный компьютер.

**2.1.4 Описание (ход) работы:**

1. Загрузить ситуационный план.
2. Ознакомиться с методикой расчета.
3. Задать исходные данные аварийной ситуации.
4. Проанализировать протокол результатов расчета аварии.

### **2.3 Лабораторная работа 3 (2 часа)**

**Тема: «Построение полей потенциального риска при авариях на опасных производственных объектах.»**

**2.3.1 Цель работы:** Изучить вопросы построения полей потенциального риска при авариях на опасных производственных объектах.

**2.3.2 Задачи работы:**

1. Изучить основные понятия и определения методики.
2. Ознакомиться с исходными данными.
3. Построить поля потенциального риска при авариях на опасном производственном объекте.

**2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Персональный компьютер.

**2.3.4 Описание (ход) работы:**

1. Загрузить ситуационный план.
2. Ознакомиться с методикой расчета.
3. Задать исходные данные аварийной ситуации.
4. Проанализировать протокол результатов расчета аварии.

### **2.4 Лабораторная работа 4 (2 часа)**

**Тема: «Расчет индивидуального (потенциального) риска в условиях техногенных ЧС.»**

**2.4.1 Цель работы:** Научится проводить расчет индивидуального профессионального риска

**2.4.2 Задачи работы:**

1. Изучить основные понятия и определения методики.
2. Ознакомиться с исходными данными.

**2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

Персональный компьютер.

**2.4.4 Описание (ход) работы:**

1. Загрузить ситуационный план.
2. Ознакомиться с методикой расчета.
3. Задать исходные данные аварийной ситуации.
4. Проанализировать протокол результатов расчета аварии.