

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ И ХИМИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к практическим и лабораторным работам по курсу
**«ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МАСШТАБОВ ЗАРАЖЕНИЯ
ПРИ ВЫБРОСАХ АВАРИЙНО-ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ
В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ»**

по дисциплинам
«Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций.
Радиационная безопасность»,
«Безопасность жизнедеятельности человека»
для студентов всех специальностей дневной и заочной форм обучения

Брест 2024

УДК 355.586 (07)

Методические указания предназначены для выполнения практических и лабораторных работ по расчету заблаговременного и оперативного прогнозирования масштабов заражения территорий в случае аварий, сопровождающихся выбросом (разливом) аварийно-химически опасных веществ в окружающую среду. Расчет приведен в соответствии с действующей нормативной документацией (РД 52.04.253-90 «Методикой прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте»).

В методических указаниях приведены краткие характеристики наиболее часто встречающихся аварийно-химически опасных веществ, правила поведения населения в очаге химического заражения.

Приведены примеры расчётов.

Составители: Н. В. Левчук, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой инженерной экологии и химии;

В. Н. Босак, к. б. н., доцент, доцент кафедры инженерной экологии и химии;

А. П. Головач, старший преподаватель кафедры инженерной экологии и химии.

Рецензенты: Е. В. Добрунов, директор ОАО «Брестжилстрой»;

Т. Л. Кушнер, к. ф.-м. н., доцент, заведующий кафедрой физики УО «Брестский государственный технический университет».

ВВЕДЕНИЕ. Опасность химических аварий

Аварийно химически опасное вещество (АХОВ) – опасное химическое вещество, применяемое в промышленности и сельском хозяйстве, при аварийном выбросе (разливе) которого может пройти заражение окружающей среды в концентрациях, поражающих живые организмы.

В настоящих методических указаниях под общей аббревиатурой АХОВ рассматриваются **аварийно химически опасные вещества ингаляционного действия (АХОВИД)**, которые могут поражать людей через органы дыхания. К ним относятся химические соединения, обладающие высокой летучестью и способностью создавать в естественных условиях концентрации пара или газа, вызывающие смерть или острое отравление человека.

Химически опасный объект (ХОО) – хозяйственный объект, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют опасное химическое вещество. При аварии или разрушении такого объекта может произойти массовое поражение людей, животных и растений, а также химическое заражение окружающей среды.

Крупными запасами АХОВ располагают предприятия химической, целлюлозно-бумажной, нефтеперерабатывающей, пищевой промышленности, промышленности минеральных удобрений и др.

Химическая авария – это незапланированный и неуправляемый выброс опасных химических веществ в окружающую среду, возникающий в результате взрыва, пожара, поломки технологического оборудования, транспортной ёмкости или трубопровода и способный вызвать массовое поражение людей, животных и растений.

Наибольшую опасность представляют аварии на складах предприятий, производящих и потребляющих АХОВ, где могут одновременно храниться сотни тонн опасных химических веществ. При повреждении или разрушении складских крупнотоннажных ёмкостей АХОВ могут распространяться за пределы территории предприятия, приводя к массовому поражению не только производственного персонала, но и проживающего вблизи населения.

Химические аварии при перевозке АХОВ по железным и автомобильным дорогам также сопряжены с высокой степенью опасности, так как транспортные коммуникации проходят через города и густонаселённые районы страны.

Аварии и катастрофы на химических опасных объектах – нередкое явление. Так, в мире ежегодно регистрируется 17–18 химических аварий. В Республике Беларусь ежегодно происходит от 10 до 25 химических аварий. На территории Беларуси имеется более 540 объектов, где хранятся, используются или производятся опасные химические вещества.

К химически опасным объектам относятся:

- предприятия химической, нефтеперерабатывающей и других родственных отраслей промышленности;
- предприятия, имеющие холодильные установки, в которых в качестве хладагента используют аммиак (предприятия мясомолочной промышленности, хладокомбинаты, продовольственные базы);

– водоочистные и другие очистные сооружения, в качестве дезинфектанта использующие хлор;

– железнодорожные станции, где осуществляется различные виды работы с опасными химическими веществами.

Выделяют 4 степени опасности химически опасных объектов:

1-я степень – в зону заражения попадает более 75 000, масштаб заражения региональный, время заражения воздуха – несколько суток, заражение воды – от нескольких суток до нескольких месяцев;

2-я степень – в зону заражения попадает от 40 до 75 тысяч человек, масштаб заражения местный, время заражения воздуха составляет от нескольких часов до нескольких суток, заражение воды – до нескольких суток;

3-я степень – в зону заражения попадает менее 40 тысяч человек, масштаб объектовый, время заражения воздуха – от нескольких минут до нескольких часов, заражение воды – от нескольких часов до нескольких суток;

4-я степень – зона заражения не выходит за пределы санитарно-защитной зоны или за территорию объекта, масштаб локальный, заражение воздуха – от нескольких минут до нескольких часов, заражение воды – от нескольких часов до нескольких суток.

В настоящее время в промышленности, сельском хозяйстве, быту используются более 10 млн химических соединений, 60 тысяч из них производится в больших количествах, а 500 высокотоксичных веществ опасны для человека.

В Республике Беларусь используется 107 видов различных АХОВ, но только 34 из них широко используются в народном хозяйстве. Общий запас АХОВ в Республике Беларусь более 50 тыс. т, из них свыше 26 тыс. т – аммиак. Наряду с аммиаком в промышленности Беларуси используются и такие опасные вещества, как хлор и цианистый водород.

В Республике Беларусь имеются 3 объекта 1-й степени опасности, 11 объектов 2-й степени опасности, 221 объект 3-й степени опасности и более 110 объектов 4-й степени опасности.

Объекты 1 и 2 степени опасности в Республике Беларусь: ПО «Полимир», г. Новополоцк (акрилонитриловой кислоты – 5 тыс. тонн, синильной кислоты – 12,6 тонн, аммиака – 1140 тонн, хлора – 6 тонн); ПО «Нафтан», г. Новополоцк (400 тонн аммиака); ПО «Водоканал», г. Минск (40 тонн хлора); ПО мясной промышленности, г. Минск (46 тонн аммиака); Мясокомбинат, г. Гродно (40 тонн аммиака); ПО «Азот», г. Гродно (20 тыс. тонн аммиака); водозабор г. Новополоцка

(3 тонны хлора); ПО «Химволокно», г. Гродно (2 тонны хлора); завод ЭВМ, г. Минск (60 тонн соляной кислоты).

Краткая характеристика наиболее часто встречающихся АХОВ

Аммиак – бесцветный газ с характерным запахом нашатырного спирта. Хорошо растворим в воде, легко испаряется. В промышленных условиях хранится в стальных резервуарах в виде 25 % -ого водного раствора.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе – в населенных пунктах – 0,0002 мг/л, в рабочих помещениях – 0,02 мг/л.

Поражающая концентрация = 0,2 мг/л в течение 60 минут воздействия (время экспозиции). Смертельная концентрация – 7 мг/л при экспозиции 30 минут.

Аммиак сильно раздражает дыхательные пути и возбуждает центральную нервную систему, при высоких концентрациях жидкий аммиак может вызвать ожоги кожи.

Признаки поражения – небольшие концентрации аммиака вызывают чихание, слезотечение, слюнотечение. При всасывании его в кровь может появиться головная боль, тошнота и позывы на мочеиспускание. При действиях высоких концентраций появляется резь в глазах, сильное слезотечение, обильное выделения из носа, слюнотечение, приступы мучительного кашля, удушье, головная боль, головокружение, боли в желудке, рвота. Пораженный сильно возбуждается до состояния буйного бреда, вскоре теряет сознание и падает, резко нарушается дыхание и сердечная деятельность. Через несколько минут наступает смерть от упадка сердечной деятельности. Иногда смерть наступает через несколько часов от отека гортани или от отека легких.

Хлор – зеленовато-желтый газ с резким раздражающим запахом. Хлор в 2,5 раза тяжелее воздуха, поэтому концентрируется в нижних слоях атмосферы. Один литр жидкого хлора дает 457 литров газа. Хорошо растворим в воде.

ПДК в воздухе населенного пункта – 0,00003 мг/л, в рабочей зоне – 0,001 мг/л. Поражающая концентрация – 0,01 мг/л при экспозиции 1 час, смертельная – 0,1 мг/л при экспозиции 1 час.

Хлор вызывает сильное раздражение глаз и дыхательных путей, которое приводит к отеку легких. Высокие концентрации хлора могут привести к быстрой смерти от рефлекторного торможения дыхательного центра.

Признаки поражения. Вначале пораженный ощущает жжение и резь в глазах, слезотечение, раздражение в носоглотке, чихание. Вскоре появляются за грудиные боли, одышка, мучительный кашель вначале сухой, затем с обильным выделением слизистой мокроты.

При высоких концентрациях хлора дыхание становится затрудненным, развивается удушье, лицо становится синюшным, пульс частый слабый. Если помощь не будет оказана своевременно, пораженный погибнет от отека легких.

Хлорпикрин – легко испаряющаяся жидкость бледно-желтого цвета с резким запахом, напоминает запах ананаса. Пары в 6 раз тяжелее воздуха. Плохо растворим в воде, хорошо в органических растворителях. При температуре кипения разлагается с образованием фосгена.

ПДК в воздухе – 0,007 мг/л. Поражающая концентрация – 0,025 мг/л при экспозиции 10 минут. Смертельная концентрация – 2 мг/л при экспозиции 10 минут.

В малых концентрациях хлорпикрин действует как слезоточивое ОВ и раздражающее верхние дыхательные пути. В больших концентрациях вызывает эффект удушающего ОВ с развитием отека легких.

Признаки поражения. У пораженного появляется резь в глазах, слезотечение, першение в гортани, кашель, давящая боль за грудиной, удушье и в дальнейшем может развиваться отек легких. Иногда появляется тошнота и рвота. При малых концентрациях все признаки поражения быстро проходят после выхода из зоны заражения. При больших концентрациях удушье начинается сразу, быстро развивается отек легких, который может привести к смерти от кислородного голодания и упадка сердечной деятельности.

Формальдегид – бесцветный газ с резким удушающим запахом, несколько тяжелее воздуха (относительная массовая плотность паров 1,03), хорошо растворяется в воде. Заражает водоёмы. Водный (35–40 % -ый) раствор формальдегида называют формалином (технический продукт содержит до 20 % метилового спирта). Температура кипения минус 19,0 °С, температура плавления минус 118°С.

Пожаро- и взрывоопасность. Горючий газ. В смеси с воздухом и кислородом взрывоопасен, воспламеняется от огня (пределы воспламенения от 7 до 73 % по объёму).

Использование формальдегида. Формальдегид используется для получения фенолоформальдегидных смол, изопрена, красителей, взрывчатых веществ, лекарств, а также как дубящее, антисептическое и дезодорирующее средство.

Действие формальдегида на организм человека. По действию – сильное раздражающее, прижигающее вещество (омертвление с длительным заживлением), наркотик. Поражает почки, печень. Пары формальдегида раздражают слизистые оболочки глаз и дыхательных путей. При попадании на кожу вызывает покраснение, образование пузырей.

Признаки поражения характерны для раздражающих веществ. Через несколько часов после воздействия формальдегида развиваются явления поражения глубоких отделов дыхательных путей: резкий кашель, давление в груди, одышка, тошнота рвота, двигательное возбуждение, нарушение сознания, судороги. В более поздний период отмечаются явления гепатита.

Предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны 0,5 мг/м³. Защиту органов дыхания обеспечивают фильтрующие общеобщескопые и гражданские противогазы, а также промышленные противогазы марки А, М, БКФ.

Фосген – бесцветный газ с запахом прелого сена или гнилых яблок. В 3,5 раза тяжелее воздуха, мало растворим в воде, легко растворяется в органических растворителях. Хорошо сорбируется и нейтрализуется активированным углем, пемзой, натриевой известью и уротропином.

ПДК в воздухе – 0,00005 мг/л. Поражающая концентрация – 0,05 мг/л при экспозиции 10 минут, смертельная – 0,5 мг/л при экспозиции 5–7 минут.

Поступая в организм человека через дыхательные пути, фосген вызывает отек легких, в результате чего развивается кислородное голодание и сердечно-сосудистая недостаточность. В развитии поражения фосгеном наблюдаются четыре периода:

Первый период – пораженный ощущает неприятный запах и вкус, появляется слюнотечение, першение в горле и кашель.

Второй период (скрытый) – признаки первого периода исчезают, пораженный чувствует себя лучше, однако в легких в это время скрыто развиваются серьезные патологические изменения. В зависимости от концентрации фосгена этот период может длиться от 2 до 12 часов.

Третий период (синяя форма асфиксии) – в результате развивающегося отека легких снижается обогащение крови кислородом и начинает нарастать кислородное голодание клеток и тканей. Дыхание становится частым и поверхностным, по-

является кашель с выделением пенистой мокроты, сердцебиение, пульс частый, синюют губы, лицо, конечности. Появляется головная боль, иногда повышается температура тела.

Четвертый период (серая форма асфиксии) – это период отека легких и сердечно-сосудистой недостаточности; дыхание становится редким, затрудненным и клочущим. Появляется кашель с большим количеством пенистой мокроты с примесью крови, конечности холодеют, пульс частый, едва прощупывается, кожные покровы приобретают пепельно-серый цвет. Через сутки, двое может наступить смерть от кислородного голодания и упадка сердечной деятельности. В случаях выживания – отек легких, и сердечно-сосудистая недостаточность может вновь развиться при малейшей физической нагрузке.

Синильная кислота (водорода цианид) – бесцветная легколетучая жидкость с запахом горького миндаля. Пары ее легче воздуха, хорошо растворяется в воде и органическими растворителями.

ПДК в воздухе – 0,0003 мг/л. Поражающая концентрация 0,02 мг/л при экспозиции 30 минут, смертельная – 0,2 мг/л при экспозиции 15 минут, либо 1 мг/л при одномоментной экспозиции.

Синильная кислота – сильный яд, который может проникать в организм через дыхательные пути (при испарении), через желудочно-кишечный тракт (с водой или пищей) и через кожу (при попадании капель). Синильная кислота, попав в организм, блокирует клеточный фермент цитохромоксидазу, посредством которой кислород из крови переносится в клетки и тканях. В результате этого нарушаются окислительные процессы в клетках и тканях, нарушается так называемое тканевое дыхание и прекращается деятельность жизненно важных органов и систем. В зависимости от полученной дозы различают две формы поражения человека:

1. Молниеносная форма. Такая форма развивается при получении больших доз (при содержании в воздухе 1 мг/л и более). Пораженный ощущает стеснение в груди и затруднение дыхания, теряет сознание, падает, появляются судороги, резко нарушается дыхание и сердечная деятельность. Вскоре дыхание прекращается и через минуту – две останавливается сердце.

2. Замедленная форма. Развивается при получении меньших доз. Картина поражения развивается постепенно на протяжении 15 минут, проявляясь в основном теми же признаками, что и при молниеносной форме, только в замедленном виде и с более широким разнообразием признаков. В замедленной форме поражения выделяют четыре стадии:

1. Стадия начальных явлений: пораженный ощущает запах горького миндаля, металлический привкус во рту, царапанье в горле, тошноту, слабость, головокружение.

2. Стадия одышки: появляется одышка, стеснение в груди, затруднение дыхания. Нарастает слабость, кожные покровы и слизистые оболочки становятся розовыми, появляются боли в области сердца, пульс редкий.

3. Стадия судорог: пораженный теряет сознание, падает, и начинаются судороги, зрачки расширены, дыхание и пульс редкие и неритмичные.

4. Стадия параличей: через минуту, две судороги постепенно ослабевают и развиваются параличи. Вскоре прекращается дыхание, а через 3–5 минут оста-

навливается и сердце. Это обстоятельство необходимо учитывать при оказании помощи пораженным. Активное проведение искусственного дыхания может спасти жизнь пораженного. При оказании первой помощи следует надеть на пораженного противогаз. При наличии ампулы с амилнитритом, надломить ее и ввести под шлем-маску противогаза. Вынести пораженного из зараженной атмосферы на свежий воздух, где снять противогаз. При остановке дыхания активно проводить искусственное дыхание, не забывая о том, что часть синильной кислоты выделяется из организма с выдыхаемым воздухом. При попадании капель синильной кислоты на кожу удалить их тампоном, смоченным хлорамидом или раствором хлорной извести. Повторно давать для вдыхания амилнитрит и срочно эвакуировать пораженного в больницу.

Сернистый ангидрид – бесцветный газ с острым сернистым запахом и ощущением сладковатого привкуса во рту. Хорошо растворяется в воде и в органических растворителях.

ПДК в воздухе 0,01 мг/л. Поражающая концентрация – 0,5 мг/л при экспозиции 20 минут, смертельная – 1,7 мг/л при экспозиции 60 минут.

Сернистый ангидрид действует главным образом на дыхательные пути, вызывая их раздражение и отек. Одновременно он сильно раздражает слизистые оболочки глаз и роговицу, вплоть до помутнения роговицы. Сразу же после попадания сернистого ангидрида в дыхательные пути появляется жжение и боль в горле и за грудиной, сухой болезненный кашель, резь в глазах, слезотечение. При воздействии высоких концентраций наряду с вышеуказанными признаками появляется одышка, затруднение дыхания, посинение лица, рук, иногда рвота. Вскоре пораженный теряет сознание и может погибнуть от развивающегося тяжелого удушья, в связи с резким спазмом мелких бронхов и их отеком.

Сероуглерод – бесцветная, летучая, ядовитая жидкость с резким эфирным запахом. Легко растворяется в воде. Частично растворяется на свету, при этом продукты разложения придают ему желтый цвет и отвратительный запах. При нагревании до 100 градусов пары сероуглерода загораются, образуя двуокись углерода и двуокись серы. Смесь сероуглерода с воздухом может взрываться. ПДК в воздухе – 0,001 мг/л. Поражающая концентрация – 1,5 мг/л при 9 мин. Экспозиции, смертельная 10 мг/л при экспозиции 90 минут.

Малые дозы сероуглерода, проникая в организм, вызывают различной степени поражения центральной, периферической и вегетативной нервной системы, что сопровождается разнообразными общими и местными расстройствами функции органов и систем, а также полиневритами. Высокие концентрации действуют сразу же наркотически. Пораженный вначале испытывает слабость, головную боль. Затем появляются головокружение, неуверенность при движениях, боли в ногах и в животе. При высоких концентрациях сероуглерода у пораженного сразу же появляются признаки спутанности сознания, затем наступает потеря сознания и глубокий наркоз. Пораженный лежит без движения, бледен, дыхание поверхностное. Длительное пребывание в таком состоянии в зараженной атмосфере может привести к смертельному исходу.

Сероводород – бесцветный газ с запахом тухлых яиц. Запах сероводорода обнаруживается при минимальных его концентрациях в воздухе (1:100000). При высоких концентрациях запах не определяется (в этом заключается коварство серово-

дорода). Он тяжелее воздуха. Умеренно растворяется в воде (лучше в холодной). Хорошо горит. Смесь сероводорода с воздухом и окисью азота взрывоопасна.

ПДК в воздухе 0,01 мг/л. Поражающая концентрация – 0,015 мг/л при систематическом действии вызывает хроническое отравление, 0,02 мг/л – острое отравление. Смертельная концентрация сероводорода – 1 мг/л. При концентрации – 1,2 мг/л и выше наступает молниеносная смерть.

Сероводород сильный яд. Он вызывает сильное раздражение глаз и дыхательных путей. Всасываясь в кровь и проникая в клетки, он соединяется с ферментами тканевого дыхания, в результате чего развивается кислородное голодание и угнетение окислительно-восстановительных процессов в клетках и тканях.

Признаки поражения. При постоянном нахождении в помещении, где концентрация сероводорода 0,015 мг/л и чуть выше, постепенно развивается хроническое отравление. Вначале появляется воспаление оболочек глаз (конъюнктивит), сопровождающийся слезотечением, светобоязнью болью в глазных яблоках и мелкими эрозиями на роговице. Затем развивается воспаление слизистых носа, гортани, трахеи и бронхов. В дальнейшем появляются головные боли, головокружение, снижение слуха и расстройство органов пищеварения (тошнота, рвота, понос). На коже появляются высыхания, гнойнички и фурункулы. Постепенно развивается малокровие.

При нахождении в зараженной зоне при концентрации 0,02 мг/л и выше развивается острое отравление.

Рекомендации по поведению и действиям при химических авариях

При аварии с выбросом в атмосферу аммиака:

- получив информацию о химическом заражении, зайдите в помещение, закройте окна, форточки, фрамуги. Если имеется приточная вентиляция – выключите ее;
- если нет возможности укрыться в помещении, срочно покиньте опасный район, двигаясь перпендикулярно направлению ветра в безопасный район. Безопасный район будет указан в рекомендациях штаба ГО ЧС;
- для защиты органов дыхания используйте ватно-марлевую повязку, смоченную 5 %-ым раствором лимонной кислоты (2 чайные ложки на 1 литр воды). В крайнем случае для защиты органов дыхания можно использовать любую ткань, смоченную водой;
- при поражении аммиаком пострадавшему следует дышать водяными парами 10 %-ого раствора ментола в хлороформе или столового уксуса (поваренной солью). Предварительно пострадавшего следует вынести на свежий воздух, дать тёплое молоко или чай с пищевой содой;
- при удушье необходим кислород, при спазме голосовой щели тепло на область шеи, теплые водяные ингаляции;
- если произошел отек лёгких, искусственное дыхание делать нельзя. Слизистые и глаза промывать водой или 2 %-ым раствором борной кислоты не меньше 15 минут. В глаза закапать 2–3 капли 30 %-ого раствора альбуцида, в нос – теплое оливковое, персиковое или вазелиновое масло. Поражённые

участки тела обливаться чистой водой, наложить примочки из 5 %-ого раствора уксусной, лимонной или соляной кислоты. Пострадавшему обеспечить полный покой и тепло. При возможности снять верхнюю одежду. Вызвать врача.

При аварии с выбросом хлора

Общие правила поведения в начальной стадии аварии такие же, как и в случае с выбросом аммиака. При этом защита органов дыхания проводится ватно-марлевой повязкой, смоченной 2 %-ым раствором пищевой соды (или водой).

Специфические требования – пострадавшего следует вынести на свежий воздух, обеспечить полный покой и создать тепло. Расстегнуть ворот, ослабить поясной ремень, по возможности снять верхнюю одежду, заражённую парами хлора. Дать вдыхать пораженному аэрозоль 0,5 %-ого раствора пищевой соды, по возможности кислород. Промыть кожу и слизистые 2 %-ым содовым раствором не менее 15 минут. Вызвать врача. Пораженному передвигаться самостоятельно нельзя, транспортировать в лечебное учреждение только в лежачем положении. При потере дыхания немедленно сделать ему искусственное дыхание методом «изо рта в рот».

1 ПОВЕДЕНИЕ АХОВ ПРИ ХИМИЧЕСКИХ АВАРИЯХ

Аварийно химически опасные вещества ингаляционного действия используются, хранятся и транспортируются в жидком или газообразном состоянии. При химической аварии в зависимости от агрегатного состояния они могут образовывать облака заражённого воздуха двух видов.

Первичное облако – облако заражённого воздуха, образующееся в результате быстрого перехода в атмосферу всего объема или части содержимого ёмкости с АХОВ при её разрушении.

Вторичное облако – облако заражённого воздуха, образующееся в результате испарения разлившегося АХОВ с подстилающей поверхности (грунта, асфальта, бетонного основания и т. д.).

Сжатые газы обычно хранят и транспортируют при температуре окружающей среды и давлении 0,07–3,0 МПа. В случае потери герметичности газгольдера, реактора, трубопровода, в котором находится сжатый газ, наблюдается выход газовой струи в атмосферу, при этом скорость процесса зависит лишь от размеров аварийного отверстия и избыточного давления внутри оборудования по сравнению с атмосферным давлением. Считается, что при химической аварии отверстие имеет значительные размеры или оборудование полностью разрушено. В первом случае длительность выхода газовой струи в атмосферу не превышает нескольких минут, а во втором – переход сжатого газа в атмосферу можно считать мгновенным взрывным процессом.

Таким образом, **сжатый газ при химической аварии образует только первичное облако.**

Сжиженные газы – это вещества, переведённые из газообразного состояния в жидкое и имеющие температуру кипения при атмосферном давлении меньшую, чем температура окружающей среды. Они могут храниться в жидком

состоянии под давлением собственных насыщенных паров 0,6–1,8 МПа при температуре окружающей среды и реже в охлаждённом состоянии под давлением близком к атмосферному. В последнем случае емкости искусственно охлаждаются.

Внезапный полный распад на части (полное разрушение) емкости со сжиженным газом, находящимся под высоким давлением при температуре окружающей среды, представляет наибольшую опасность. Развитие такой химической аварии можно условно разделить на два периода.

В течение **первого периода**, который длится несколько секунд, происходит залповый выброс насыщенного пара АХОВ, находившегося над жидкой фазой до аварии и мгновенное вскипание жидкой фазы по всему объёму. Часть АХОВ мгновенно испаряется, смешивается с воздухом, образуя облако паровоздушной смеси (первичное облако). Оставшаяся часть вещества охлаждается до температуры кипения при атмосферном давлении.

В начале **второго периода** наблюдается неустойчивое испарение оставшейся части АХОВ за счет притока тепла от подстилающей поверхности и окружающего воздуха. Как только приток тепла от подстилающей поверхности прекращается, наступает период стационарного испарения, интенсивность которого зависит от скорости ветра, температуры окружающего воздуха и физико-химических свойств АХОВ. Температура жидкого слоя становится несколько ниже температуры кипения.

Таким образом, **сжиженный газ при химической аварии может образовывать как первичное, так и вторичное облако заражённого воздуха.**

К жидкостям будем относить вещества, у которых температура кипения выше температуры окружающей среды и которые находятся при нормальных условиях в жидком состоянии. Они могут храниться в резервуарах при атмосферном давлении и температуре окружающей среды. При разгерметизации резервуаров и разлитии таких АХОВ на подстилающую поверхность первичное облако не образуется, а имеет место стационарное испарение, в результате которого **образуется вторичное облако заражённого воздуха.**

Температура окружающей среды переменна для различных территорий и времён года, поэтому отдельные АХОВ при химической аварии могут вести себя по-разному. Так температура кипения фосгена при атмосферном давлении составляет 8,2 °С, поэтому в случае разгерметизации емкости со сжиженным фосгеном при более низкой температуре окружающей среды данное АХОВ ведёт себя как жидкость, при более высокой температуре – как сжиженный газ.

Повышение температуры окружающей среды (воздуха) ускоряет испарение жидких АХОВ с подстилающей поверхности и увеличивает их концентрацию в воздухе над заражённой территорией.

2 РАСПРОСТРАНЕНИЕ И РАССЕЙВАНИЕ ОБЛАКА ЗАРАЖЕННОГО ВОЗДУХА

Большинство АХОВ образует тяжелые облака заражённого воздуха, перемещающиеся вблизи поверхности земли, по форме близкие к эллипсоидально-

му цилиндру с большей осью, ориентированной по направлению ветра. Облако АХОВ переносится и рассеивается постоянно существующими в атмосфере турбулентными вихрями различных масштабов, интенсивность которых определяется, главным образом, двумя факторами: скоростью ветра и степенью вертикальной устойчивости воздуха в приземном слое (30–50 м над поверхностью земли). Различают три степени вертикальной устойчивости воздуха: инверсию, изотермию и конвекцию (приложение 1).

Инверсия характеризуется повышением температуры воздуха по мере увеличения высоты и чаще всего возникает ночью при ясной погоде и скорости ветра до 4 м/с в результате интенсивного излучения тепла земной поверхностью, что приводит к охлаждению как самой поверхности, так и прилегающего к ней слоя воздуха. Инверсия препятствует движению воздуха по вертикали (нижние слои воздуха слои холоднее, а значит, и тяжелее верхних), способствует образованию тумана.

Изотермия характеризуется приблизительным равенством температур воздуха в приземном слое и наиболее типична для пасмурной и ветреной погоды (скорость ветра более 4 м/с), может наблюдаться также в утренние и вечерние часы.

Конвекция характеризуется понижением температуры воздуха по мере увеличения высоты (нижние слои воздуха теплее, а значит, и легче верхних). Конвекция чаще всего наблюдается в темное время года при ясной солнечной погоде и скорости ветра до 4 м/с. Нагретая земная поверхность прогревает нижний слой воздуха, который в виде восходящих конвективных потоков поднимается вверх, а взамен его вниз опускается потоки холодного воздуха.

Инверсия и в меньшей степени изотермия способствуют длительному сохранению опасных концентраций АХОВ и в приземном слое воздуха. Конвекция, благодаря наличию вертикальных потоков воздуха, способствует рассеиванию облака зараженного воздуха и снижению концентраций АХОВ в приземном слое.

Скорость ветра оказывает влияние на горизонтальное перемещение облака зараженного воздуха и во многом определяет состояние атмосферы в приземном слое, тем самым, влияя на процесс вертикальной диффузии паров АХОВ и их рассеивания в верхних слоях атмосферы. При скорости ветра до 1 м/с турбулентный разрыв фронта зараженного воздуха минимален, что способствует наибольшей дальности проникновения АХОВ в опасных концентрациях. Напротив, сильный порывистый ветер (6–7 м/с и более) быстро рассеивает зараженный воздух.

Под влиянием **топографических условий местности** (неровностей рельефа, городской застройки и лесных зон) изменяется турбулентный режим воздушных потоков, характер рассеивания и поле концентраций АХОВ вблизи земли.

В **крупных городах** скорость и направление ветра на улицах и между зданиями изменяются и зависят от конкретной структуры города. Обычно интенсивное движение воздушных потоков отмечается вдоль магистральных улиц. Здесь процессы переноса и рассеивания зараженного воздуха мало чем отличаются от открытой равнинной местности. Однако на участках, удаленных от магистральных улиц, в переулках, тупиках, во дворах интенсивность местной циркуляции воздуха значительно снижается. Здесь, в случае проникновения об-

лака зараженного воздуха, достаточно долго могут сохраняться опасные концентрации АХОВ. В целом можно считать, что стойкость АХОВ в городе выше, чем на открытой местности.

Если на пути облака АХОВ встречается **лесной массив** или **возвышенность**, то глубина его распространения резко уменьшается, но концентрации АХОВ в воздухе возрастают. **Пониженные участки местности** (лощины, овраги и т. д.) способствуют застою воздуха и длительному сохранению высоких концентраций АХОВ.

2.1 Определение скорости ветра и степени вертикальной устойчивости воздуха в приземном слое

Приборы: анемометр чашечный, секундомер, термометр.

1. Экспериментальная часть.

1.1. Определение скорости ветра в приземном слое воздуха.

Перед началом измерений записывают показания по трем шкалам анемометра (X_1). Выбирают открытый участок местности и устанавливают анемометр вертикально на высоте 1 м от поверхности земли. Через 10–15 с поднимают арретир на корпусе прибора вверх до упора. Одновременно включают секундомер. После истечения 1–2 минуты арретир опускают вниз и засекают точное время по секундомеру (τ , с). Записывают показания по шкалам анемометра (X_2). Измерения повторяют трижды и записывают показания по шкалам анемометра и показания секундомера.

1.2. Определение температуры.

Устанавливают термометр на высоте 50 см от поверхности земли и через 5–10 минут снимают показания (t_{50} , °C). Затем аналогично снимают показания на 200 см от поверхности земли (t_{200} , °C).

2. Расчетная часть.

2.1. Расчет среднего числа деления шкалы анемометра, приходящихся на одну секунду (n , число делений/с), ведется по формуле

$$n = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{N_i}{\tau_i} = \frac{1}{3} \left(\frac{N_1}{\tau_1} + \frac{N_2}{\tau_2} + \frac{N_3}{\tau_3} \right) \quad (1)$$

где $N_i = X_{2i} - X_{1i}$ – разность показаний анемометра в i -м опыте;

τ_i – показания секундомера в i -м опыте, с.

2.2. В зависимости от скорости вращения крыльчатки анемометра (n) определяют скорость ветра на высоте 1 м (V_1 , м/с) по графику зависимости $V_1 = f(n)$, входящему в комплект анемометра, либо по ее аналитическому выражению.

2.3. При отсутствии данных скорость ветра на высоте 10 м (высота флюгера метеостанций) для открытой местности (V , м/с) определяется по приближенной формуле

$$V \approx 1,5 \cdot V_1 \quad (2)$$

2.4. Расчет разности температур (Δt , °C) ведется по формуле (3), при этом полученный арифметический знак разности сохраняется

$$\Delta t = t_{50} - t_{200}. \quad (3)$$

2.5. Для определения степени вертикальной устойчивости воздуха рассчитывается отношение $\Delta t / V_1^2$.

Если $\Delta t / V_1^2 < -0,1$, то наблюдается **инверсия**;

если $-0,1 < \Delta t / V_1^2 < +0,1$, то наблюдается **изотермия**;

если $\Delta t / V_1^2 \geq +0,1$, то наблюдается **конвекция**.

2.6. Результаты наблюдений и расчетов сводятся в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты наблюдений и расчетов

N	Показания шкал анемометра		Разность показаний, N	Время измерений τ , с	n, число делений/с	Скорость ветра		Температура воздуха		Разность температур Δt , °C	$\Delta t / V_1^2$
	начальное X_1	конечное X_2				V_1 , м/с	V , м/с	t_{30} , °C	t_{200} , °C		
1											
2											
3											

3 ЗОНА ХИМИЧЕСКОГО ЗАРАЖЕНИЯ

Под прогнозированием масштаба заражения АХОВ понимается определение глубины (дальности) распространения поражающих концентраций АХОВ в воздухе и расчет площади зоны заражения.

Площадь зоны фактического заражения – площадь территории, в пределах которой приземный слой воздуха заражен парами или аэрозолем ядовитого вещества в опасных для жизни и здоровья людей концентрациях.

Площадь зоны возможного заражения – площадь территории, в пределах которой под воздействием изменения направления ветра может перемещаться облако зараженного воздуха.

Размеры зоны химического заражения зависят, главным образом, от вида и количества АХОВ, скорости ветра, температуры воздуха, степени вертикальной устойчивости воздуха в приземном слое и топографических условий местности на пути распространения зараженного воздуха. В настоящих методических указаниях внешняя граница зоны химического заражения рассчитывается по пороговой токсодозе АХОВ при ингаляционном воздействии на организм человека.

Пороговая токсодоза – минимальное количество опасного химического вещества, вызывающее начальные симптомы поражения.

4 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА

Методические указания предназначены для заблаговременного и оперативного прогнозирования масштабов заражения в случае аварий на химически опасных объектах и на транспорте, сопровождающихся выбросом (разливом) АХОВ в окружающую среду. Распространяются на случаи выброса АХОВ в атмосферу в газообразном, парообразном и аэрозольном состояниях. Позволяют прогнозировать глубину зоны заражения АХОВ, определять площадь зоны заражения, время подхода зараженного воздуха к объекту, продолжительность действия источника заражения.

Масштабы заражения АХОВ в зависимости от их свойств и агрегатного состояния рассчитываются: для **сжиженных газов** – отдельно для первичного и вторичного облаков; для **сжатых газов** – только для первичного облака; для **ядовитых жидкостей**, кипящих выше температуры окружающей среды, – только для вторичного облака.

Исходными данными для прогнозирования масштабов заражения являются: общее количество АХОВ на объекте и данные по размещению их запасов в емкостях и технологических трубопроводах; количество АХОВ, выброшенное в окружающую среду; характер разлива АХОВ на подстилающей поверхности (свободно, в поддон¹ или в обваловку); высота поддона или обваловки² складских емкостей; метеорологические условия: температура воздуха, скорость ветра на высоте 10 м (на высоте флюгера метеостанций), степень, вертикальной устойчивости воздуха.

При **заблаговременном прогнозировании** масштабов заражения при химической аварии в качестве исходных данных рекомендуется принимать за величину выброса (Q_0) – количество АХОВ в максимальной по объему единичной емкости (технологической, складской, транспортной и т. д.); метеорологические условия: скорость ветра на высоте 10 м – 1 м/с, степень вертикальной устойчивости воздуха – инверсия, температура воздуха +20 °С.

Для **оперативного прогнозирования** масштабов заражения непосредственно после аварии должны браться конкретные данные о количестве выброшенного (разлившегося) АХОВ и реальные метеоусловия.

4.1 Принятые допущения

Емкости, содержащие АХОВ, при авариях разрушаются полностью. Если не известен объем выброса (разлива) АХОВ, его количество принимается равным тому, что содержалось в системе на момент аварии.

Толщина слоя (h , м) для жидких АХОВ, разлившихся свободно на подстилающей поверхности, принимается $h = 0,05$ м по всей площади разлива, а для разлившихся в поддон или в обваловку, определяется из следующих соотношений:

¹ **Поддон** – металлическая ванна (корыто) с коррозионно-устойчивым покрытием под емкостью с АХОВ. В случае разрушения емкости расчетный уровень всего объема АХОВ в ванне должен быть на 0,2 м ниже ее высоты.

² **Обваловка** – замкнутая по периметру земляная насыпь или ограждающая стенка из негорючих и коррозионно-устойчивых материалов высотой не менее 1 м, оборудованная вокруг наземных резервуаров с АХОВ.

а) при разливе из емкостей, имеющих самостоятельный поддон (обвалование)

$$h = H - 0,2, \quad (4)$$

где H — высота поддона (обвалования), м².

б) при разливе из емкостей, расположенных группой и имеющих общий поддон (обвалование)

$$h = \frac{Q_0}{F \cdot d}, \quad (5)$$

где Q_0 — количество выброшенного (разлившегося) при аварии АХОВ, т;

d — плотность АХОВ в жидком состоянии (приложение 2), т/м³;

F — реальная площадь разлива в поддон (обвалование), м².

Предельное время пребывания людей в зоне заражения с использованием средств индивидуальной защиты и продолжительность сохранения неизвестными метеорологических условий (степени вертикальной устойчивости воздуха, направления и скорости ветра) составляют четыре часа. По истечении указанного времени прогноз обстановки должен уточняться.

При аварии на трубопроводах величина выброса АХОВ (Q_0) принимается равной его максимальному количеству, заключенному в трубопроводе между автоматическими задвижками (отсекателями), например для аммиакопроводов — 275–500 т.

5 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГЛУБИНЫ ЗОНЫ ЗАРАЖЕНИЯ АХОВ

5.1 Определение количества АХОВ в первичном облаке

Количество АХОВ в первичном облаке (Q_1 , т) определяется по формуле

$$Q_1 = K_1 \cdot K_5 \cdot Q_0, \quad (6)$$

где K_5 — коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости воздуха, принимаем равным для инверсии 1, для изотермии 0,23, для конвекции 0,08;

Q_0 — количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т;

K_1 — коэффициент, зависящий от агрегатного состояния вещества и условий его хранения: для сжатых газов принимаем $K_1 = 1$; для жидкостей и сжиженных газов: если температура вещества до разрушения емкости (t_a) меньше либо равна его температуре кипения (t_k), то $K_1 = 0$; если $t_a > t_k$ то K_1 определяется по формуле

$$K_1 = K_0 \cdot 10^{-3} (t_a - t_k), \quad (7)$$

где K_0 — коэффициент, зависящий от теплофизических свойств вещества (приложение 2);

t_a — температура АХОВ до разрушения емкости: если вещество исполь-

зуется, хранится или транспортируется при температуре окружающей среды, то t_a принимается равной температуре воздуха (t) на момент аварии, °С;

t_k – температура кипения АХОВ (приложение 2), °С.

При химических авариях, связанных с выбросом сжатых газов, величина ($Q_{0,T}$) рассчитывается по формуле

$$Q_0 = 10 \cdot d_g \cdot W \cdot p, \quad (8)$$

где d_g – плотность газа при атмосферном давлении (приложение 2), т/м³;

W – объем емкости (хранилище, реактор, участок газопровода), м³;

p – давление сжатого газа в емкости в момент аварии.

5.2 Время испарения жидких АХОВ с площади разлива

Коэффициент K_4 , учитывающий влияние скорости ветра на процесс испарения разлившегося АХОВ, определяется по формуле

$$K_4 = 0,6648 + 0,3341 \cdot V, \quad (9)$$

где V – скорость ветра в приземном слое воздуха на высоте 10 м, м/с.

При отсутствии работ по ликвидации химической аварии продолжительность действия источника заражения равна времени испарения АХОВ с площади разлива ($T, ч$) и определяется по формуле

$$T = \frac{h \cdot d}{K_2 \cdot K_4}, \quad (10)$$

где h – толщина слоя АХОВ, м (см. п. 4.1);

d – плотность АХОВ в жидком состоянии (приложение 2), т/м³;

K_2 – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств АХОВ: если температура вещества до разрушения емкости (t_a) меньше его температуры плавления (t_m , приложение 2), то $K_2 = 0$; если $t_a \geq t_m$, то K_2 , определяется по формуле

$$K_2 = 8,1 \cdot 10^{\left(A - \frac{B}{C + t_u} - 6\right)} \cdot \sqrt{M}, \quad (11)$$

где A, B, C – эмпирические коэффициенты для чистых АХОВ (приложение 2);

t_u – температура поверхности испарения АХОВ: если температура вещества до разрушения емкости (t_a) находится в интервале от температуры плавления до температуры кипения АХОВ ($t_m \leq t_a \leq t_k$), то $t_u = t_a$; если $t_a > t_k$, то $t_u = t_k$, °С;

M – молекулярная масса АХОВ (приложение 2).

5.3 Определение количества АХОВ во вторичном облаке

Количество АХОВ во вторичном облаке (Q_2 , т) определяется по формуле

$$Q_2 = (1 - K_1) \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot \frac{Q_0}{T}, \quad (12)$$

где K_6 – коэффициент, зависящий от времени, прошедшего от начала аварии (времени оценки обстановки N , ч), и времени испарения вещества с площади разлива (T , ч), определяется по формуле

$$K_6 = \begin{cases} N^{0,8}, \text{ при } N < T; \\ T^{0,8}, \text{ при } N \geq T; \\ T, \text{ при } T < 1, \end{cases} \quad (13)$$

где K_1 , K_2 , Q_0 – см. пояснения к формуле (6).

5.4 Расчет глубины зоны химического заражения

Полная глубина зоны химического заражения обусловлена взаимодействием первичного и вторичного облака АХОВ. Параметры f_1 и f_2 для первичного и вторичного облака АХОВ соответственно определяются по формуле

$$f_{1,2} = 0,7277 + \frac{0,729}{V} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_{1,2}}{D}}, \quad (14)$$

где $Q_{1,2}$ – количество АХОВ в первичном и вторичном облаке соответственно т;

D – пороговая токсодоза АХОВ (приложение 2), $\text{мг} \cdot \text{мин/л}$;

V – скорость ветра в приземном слое воздуха на высоте 10 м: если $V < 1$ м/с, то в формулы (14) и (15) подставляется значение $V = 1$ м/с, если $V > 15$ м/с, то соответственно – $V = 15$ м/с.

Глубины заражения соответственно первичным (Γ_1 , км) и вторичным (Γ_2 , км) облакам АХОВ определяются по формуле

$$\Gamma_{1,2} = \sqrt{\frac{8,465 \cdot Q_{1,2} \cdot \psi_{1,2}}{D \cdot V}}, \quad (15)$$

где $\psi_{1,2}$ – безразмерный параметр соответственно для первичного и вторичного облака АХОВ принимается равным:

$$\psi_{1,2} = \begin{cases} 1, & \text{при } f_{1,2} \leq 0,9945 ; \\ f_{1,2}, & \text{при } f_{1,2} > 0,9945 . \end{cases}$$

Полная глубина зоны химического заражения (Γ , км) определяется по формуле

$$\Gamma = \left(\Gamma_1^{3/2} + \Gamma_2^{3/2} \right)^{2/3} . \quad (16)$$

Предельно возможное значение глубины переноса воздушных масс (Γ_n , км) определяется по формуле

$$\Gamma_n = N \cdot V, \quad (17)$$

где N – время, прошедшее от начала аварии (время оценки обстановки), ч;
 v – скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха (км/ч), зависящая от скорости ветра (V , м/с) и степени вертикальной устойчивости воздуха, определяется по формуле

$$v = K_7 \cdot V, \quad (18)$$

где K_7 – коэффициент принимается равным: для инверсии – 5,233, для изотермии – 5,877, для конвекции – 7.

Значения Γ и Γ_n сравниваются между собой, и меньшее из них принимается за окончательную расчетную глубину зоны химического заражения (Γ_p , км).

6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ЗОНЫ ХИМИЧЕСКОГО ЗАРАЖЕНИЯ

Площадь зоны возможного заражения облаком АХОВ (S , км²) определяется по формуле

$$S = 8,72 \cdot 10^{-3} \cdot \Gamma_p^2 \cdot \varphi, \quad (19)$$

где Γ_p – окончательная расчетная глубина зоны заражения, км;
 φ – угловые размеры зоны возможного заражения облаком АХОВ определяются по таблице 2 в зависимости от скорости ветра.

Таблица 2 – Угловые размеры зоны возможного заражения АХОВ

Скорость ветра V , м/с	< 0,6	0,6–1,0	1,1–2,0	>2,0
Угловые размеры зоны возможного заражения φ , °	360	180	90	45

Площадь зоны фактического заражения (S_ϕ , км²) определяется по формуле

$$S_\phi = K_3 \cdot \Gamma_p^2 \cdot N^{0.2}, \quad (20)$$

где K_3 – коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости воздуха, принимается равным: для *инверсии* 0,081; для *изотермии* 0,133; для *конвекции* 0,235.

7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПОДХОДА ЗАРАЖЕННОГО ВОЗДУХА К ОБЪЕКТУ

Время подхода зараженного воздуха к объекту (τ , ч) зависит от скорости переноса переднего фронта зараженного воздуха (v , км/ч) и определяется по формуле.

$$\tau = \frac{x}{v}, \quad (21)$$

где x – расстояние от источника заражения до заданного объекта, км.

8 ПОРЯДОК НАНЕСЕНИЯ ЗОН ХИМИЧЕСКОГО ЗАРАЖЕНИЯ НА ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ И СХЕМЫ

Границы зоны возможного заражения наносят на схемы и карты для выработки и принятия решений по организации защиты производственного персонала ХОО и проживающего вблизи населения.

Зона возможного поражения облаком АХОВ на картах (схемах) ограничена окружностью или сектором, имеющим угловые размеры φ (таблица 2) и радиус, равный глубине зоны заражения L_p . Глубину зоны заражения наносят по направлению ветра, которое совпадает с биссектрисой угла φ (рисунок 1). С внутренней стороны границу зоны возможного заражения оттеняют желтым цветом.

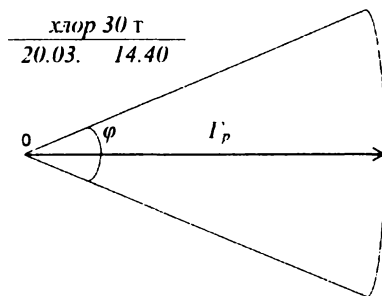


Рисунок 1

Зона фактического заражения, имеющая форму эллипса, включается в зону возможного заражения. Ввиду возможных перемещений облака АХОВ под воздействием изменений направления ветра фиксированное изображение зоны фактического заражения на карты (схемы) не наносится.

Площадь разлива жидкого АХОВ (источник заражения) обозначают только на крупномасштабных картах и схемах. В остальных случаях источник заражения обозначают точкой "0". Рядом с источником заражения черным цветом записываются следующие данные:

- в числителе – наименование и количество АХОВ, выброшенного в окружающую среду;
- в знаменателе – дата и время выброса АХОВ.

9 ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

Пример 1. На химическом предприятии произошла авария с полным разрушением технологической емкости, в которой содержалось $Q_0 = 40$ т сжиженного хлора под давлением собственных насыщенных паров и при температуре окружающей среды. Емкость не имеет обваловки или поддона ($H = 0$).

Метеоусловия на момент аварии: инверсия, скорость ветра $V = 3$ м/с, температура воздуха $t = 20^\circ\text{C}$.

Требуется определить глубину зоны заражения хлором на время $N = 1$ ч после начала аварии и продолжительность действия источника заражения.

РЕШЕНИЕ:

1. Из приложения 2 для хлора выпишем все данные, необходимые для решения примера:

$D, \text{мг} \cdot \text{мин} / \text{л}$	M	$t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{к}}, ^\circ\text{C}$	$d, \text{т} / \text{м}^3$	A	B	C	K_0
0,6	70,91	-101,03	-34,1	1,553	4,7	434,5	273,15	3,36

2. Так как вещество в емкости находилось при температуре окружающей среды, принимаем его температуру до разрушения емкости (t_a) равной температуре воздуха, $t_a = t = 20^\circ\text{C}$.

3. Определим коэффициент K_1 , зависящий от агрегатного состояния АХОВ, согласно пояснению к формуле (6). Так как $t_a > t_{\text{к}}$, K_1 определяем по формуле (7)

$$K_1 = K_0 \cdot 10^{-3} \cdot (t_a - t_{\text{к}}) = 3,36 \cdot 10^{-3} \cdot (20 - (-34,1)) = 0,1818.$$

4. Количество хлора в первичном облаке (Q_1), определяем по формуле (6)

$$Q_1 = K_1 \cdot K_5 \cdot Q_0 = 0,1818 \cdot 1 \cdot 40 = 7,272 \text{ т.}$$

5. Так как $H = 0$, разлив АХОВ по подстилающей поверхности – свободный. Согласно п.4.1., толщина слоя жидкого хлора $h = 0,05$ м по всей площади разлива.

6. Коэффициент K_4 , учитывающий влияния скорости ветра на процесс испарения разлившегося хлора, определяем по формуле (9).

$$K_4 = 0,6648 + 0,3341 \cdot V = 0,6648 + 0,3341 \cdot 3 = 1,667.$$

7. Определим коэффициент K_2 , зависящий от физико-химических свойств хлора, согласно пояснению к формуле (10). Так как $t_a > t_{\text{пл}}$, K_2 определяем по формуле (11), при этом $t_a > t_{\text{к}}$, значит $t_u = t_{\text{к}}$.

$$K_2 = 8,1 \cdot 10^{(A - \frac{B}{C + t_u} - 6)} \cdot \sqrt{M} = 8,1 \cdot 10^{(4,7 - \frac{434,5}{273,15 + (-34,1)} - 6)} \cdot \sqrt{70,91} = 0,052.$$

8. Время испарения хлора с площади разлива (T) определяем по формуле (10)

$$T = \frac{h \cdot d}{K_2 \cdot K_4} = \frac{0,05 \cdot 1,553}{0,052 \cdot 1,667} = 0,896 \text{ ч.}$$

9. Определим коэффициент K_6 , зависящий от времени, прошедшего от начала аварии (N , ч) и времени испарения вещества с площади разлива (T , ч), по формуле (13). Так как $T < 1$ ч, то $K_6 = T$

10. Количество хлора во вторичном облаке (Q_2) определим по формуле (12)

$$Q_2 = (1 - K_1) \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot \frac{Q_0}{T} = (1 - 0,1818) \cdot 0,896 \cdot \frac{40}{0,896} = 32,728 \text{ т.}$$

11. Параметр f_1 для первичного облака хлора определяем по формуле (14)

$$f_1 = 0,7277 + \frac{0,729}{V} \cdot \sqrt{\frac{Q_1}{D}} = 0,7277 + \frac{0,729}{3} \cdot \sqrt{\frac{7,272}{0,6}} = 1,286.$$

12. Глубину заражения первичным облаком хлора (Γ_1) определяем по формуле (15). Так как $f_1 > 0,9945$, то $\psi_1 = f_1$

$$\Gamma_1 = \sqrt{\frac{8,465 \cdot Q_1 \cdot \psi_1}{D \cdot V}} = \sqrt{\frac{8,465 \cdot 7,272 \cdot 1,286}{0,6 \cdot 3}} = 6,632 \text{ км.}$$

13. Параметр f_2 для вторичного облака хлора определим по формуле (14)

$$f_2 = 0,7277 + \frac{0,729}{V} \cdot \sqrt{\frac{Q_2}{D}} = 0,7277 + \frac{0,729}{3} \cdot \sqrt{\frac{7,272}{0,6}} = 1,286.$$

14. Глубину заражения вторичным облаком хлора (Γ_2) определяем по формуле (15). Так как $f_2 > 0,9945$, то $\psi_2 = f_2$.

$$\Gamma_2 = \sqrt{\frac{8,465 \cdot Q_2 \cdot \psi_2}{D \cdot V}} = \sqrt{\frac{8,465 \cdot 32,728 \cdot 1,649}{0,6 \cdot 3}} = 15,931 \text{ км.}$$

15. Полную глубину зоны химического заражения (Γ) определяем по формуле (16)

$$\Gamma = (\Gamma_1^{3/2} + \Gamma_2^{3/2})^{2/3} = (6,632^{3/2} + 15,931^{3/2})^{2/3} = 18,669 \text{ км.}$$

16. Скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха (v) определяем по формуле (18), при этом для инверсии $K_7 = 5,233$.

$$v = K_7 \cdot V = 5,233 \cdot 3 = 15,7 \text{ км/ч.}$$

17. Предельно возможное значение глубины переноса воздушных масс (Γ_n) определяем по формуле (17)

$$\Gamma_n = N \cdot v = 1 \cdot 15,7 = 15,7 \text{ км.}$$

18. Сравним значения Γ и Γ_n . Меньшее из них принимаем за расчетную глубину зоны химического заражения (Γ_p). Таким образом, $\Gamma_p = \Gamma_n = 15,7$ км. Продолжительность действия источника заражения равна времени испарения хлора с площади разлива $T = 0,896$ ч ≈ 54 мин.

Пример 2. На химически опасном объекте в газгольдере объемом $W = 2000 \text{ м}^3$ хранится сжатый аммиак. Давление в газгольдере $p = 0,2 \text{ МПа}$.

Требуется определить глубину зоны заражения аммиаком через $N = 1 \text{ ч}$ после возможного полного разрушения газгольдера. Метеоусловия на момент аварии: инверсия, скорость ветра $V = 1 \text{ м/с}$, температура воздуха $t = 20^\circ\text{C}$.

РЕШЕНИЕ:

1. Из приложения 2 для аммиака выпишем данные, необходимые для решения примера:

$D, \text{ мг·мин/л}$	$d_g, \text{ т/м}^3$
15	0,0008

2. Количество выброшенного при аварии аммиака (Q_0) определяем по формуле

$$Q_0 = 10 \cdot d_g \cdot W \cdot p = 10 \cdot 0,0008 \cdot 2000 \cdot 0,2 = 3,2 \text{ т}$$

3. Количество аммиака в первичном облаке (Q_1), определяем по формуле (6), для сжатых газов $K_1 = 1$

$$Q_1 = K_1 \cdot K_5 \cdot Q_0 = 1 \cdot 1 \cdot 3,2 = 3,2 \text{ т}$$

4. Параметр f_1 для первичного облака аммиака определяем по формуле (14)

$$f_1 = 0,7277 + \frac{0,729}{V} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_1}{D}} = 0,7277 + \frac{0,729}{3} \cdot \sqrt[3]{\frac{3,2}{15}} = 1,163$$

5. Глубину заражения первичным облаком аммиака (Γ_1) определяем по формуле (15). Так как $f_1 > 0,9945$, то $\psi_1 = f_1$

$$\Gamma_1 = \sqrt{\frac{8,465 \cdot Q_1 \cdot \psi_1}{D \cdot V}} = \sqrt{\frac{8,465 \cdot 3,2 \cdot 1,163}{15 \cdot 1}} = 1,449 \text{ км.}$$

6. Полную глубину зоны химического заражения (Γ) определяем по формуле (16). Так как сжатые газы при аварии вторичного облака не образуют, то $\Gamma_2 = 0$

$$\Gamma = (\Gamma_1^{3/2} + \Gamma_2^{3/2})^{2/3} = (1,449^{3/2} + 0^{3/2})^{2/3} = 1,449 \text{ км.}$$

7. Скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха (v) определяем по формуле (18), при этом для инверсии $K_7 = 5,5233$

$$v = K_7 \cdot V = 5,233 \cdot 1 = 5,233 \text{ км/ч.}$$

8. Предельно возможное значение глубины переноса воздушных масс (Γ_{Π}) определяем по формуле (17)

$$\Gamma_{\Pi} = N \cdot v = 1 \cdot 5,233 = 5,233 \text{ км.}$$

9. Сравним значения Γ и Γ_{Π} . Меньшее из них принимаем за расчетную глубину зоны химического заражения (Γ_p). Таким образом $\Gamma_p = \Gamma_{\Pi} = 1,449 \text{ км.}$

Пример 3. На химическом предприятии произошла авария с полным разрушением складской емкости, в которой хранилось $Q_0 = 30$ т жидкого цианистого водорода. Емкость имеет самостоятельную обваловку высотой $H = 1$ м. Метеоусловия на момент аварии: изотермия, скорость ветра $V = 2$ м/с, температура воздуха $t = 0^\circ\text{C}$.

Требуется определить глубину зоны заражения цианистым водородом на время $N=3$ ч после начала аварии и продолжительность действия источника заражения.

РЕШЕНИЕ:

1. Из приложения 2 для водорода цианистого выпишем данные, необходимые для решения примера:

$D, \text{мг} \cdot \text{мин}/\text{л}$	M	$t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{к}}, ^\circ\text{C}$	$d, \text{т}/\text{м}^3$	A	B	C	K_0
0,2	27,03	-13,3	26,25	0,685	8,132	1617,1	273,15	2,801

2. Так как вещество в емкости находилось при температуре окружающей среды, принимаем его температуру до разрушения емкости (t_a) равной температуре воздуха, $t_a = t = 0^\circ\text{C}$.

3. Определим коэффициент K_1 , зависящий от агрегатного состояния АХОВ, согласно пояснению к формуле (6). Так как $t_a < t_{\text{пл}}$ $K_1 = 0$.

4. Количество водорода цианистого в первичном облаке (Q_1) определяется по формуле (6)

$$Q_1 = K_1 \cdot K_5 \cdot Q_0 = 0 \cdot 0,23 \cdot 30 = 0 \text{ т.}$$

Таким образом, первичное облако в результате аварии не образуется.

5. Согласно п. 4.1., толщину слоя (h) жидкого цианистого водорода, разлившегося в обваловку, определяем по формуле (1)

$$h = H - 0,2 = 1 - 0,2 = 0,8 \text{ м.}$$

6. Коэффициент K_4 , учитывающий влияние скорости ветра на процесс испарения разлившегося АХОВ, определяем по формуле (9)

$$K_4 = 0,6648 + 0,3341 \cdot V = 0,6648 + 0,3341 \cdot 2 = 1,333.$$

7. Определим коэффициент K_2 , зависящий от физико-химических свойств вещества, согласно пояснению к формуле (10). Так как $t_a > t_{\text{пл}}$ K_2 определяем по формуле (11), при этом $t_a < t_{\text{к}}$ значит $t_u = t_a$

$$K_2 = 8,1 \cdot 10^{\left(4 \frac{B}{C+t_u} - 6\right)} \cdot \sqrt{M} = 8,1 \cdot 10^{\left(8,312 \frac{1617,1}{273,15+0} - 6\right)} \cdot \sqrt{27,03} = 0,0104.$$

8. Время испарения цианистого водорода с площади разлива (T) определяется по формуле (10)

$$T = \frac{h \cdot d}{K_2 \cdot K_4} = \frac{0,8 \cdot 0,687}{0,0104 \cdot 1,333} = 39,64 \text{ ч.}$$

9. Определим коэффициент K_6 , зависящий от времени, прошедшего от начала аварии (N , ч) и времени испарения вещества с площади разлива (T , ч), по формуле (13). Так как $N < T$, то $K_6 = N^{0,8} = 3^{0,8} = 2,408$.

10. Количество цианистого водорода во вторичном облаке Q_2 , определяется по формуле (12)

$$Q_2 = (1 - K_1) \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot \frac{Q_0}{T} = (1 - 0) \cdot 0,23 \cdot 2,408 \cdot \frac{30}{39,64} = 0,419 \text{ т.}$$

11. Так как $Q_1 = 0$, параметр f_1 и глубину заражения первичным облаком (T_1) не определяем, принимаем $\Gamma_1 = 0$.

12. Параметр f_2 для вторичного облака цианистого водорода определяем по формуле (14)

$$f_2 = 0,7277 + \frac{0,729}{V} \cdot \sqrt{\frac{Q_2}{D}} = 0,7277 + \frac{0,729}{2} \cdot \sqrt{\frac{0,419}{0,2}} = 1,194.$$

13. Глубину заражения вторичным облаком цианистого водорода (Γ_2) определяем по формуле (15). Так как $f_2 > 0,9945$, то $\Psi_2 = f_2$

$$\Gamma_2 = \sqrt{\frac{8,465 \cdot Q_2 \cdot \Psi_2}{D \cdot V}} = \sqrt{\frac{8,465 \cdot 0,419 \cdot 1,194}{0,2 \cdot 2}} = 3,254 \text{ км.}$$

14. Полную глубину зоны химического заражения (Γ) определяем по формуле (16)

$$\Gamma = (\Gamma_1^{3/2} + \Gamma_2^{3/2})^{2/3} = (0^{3/2} + 3,254^{3/2})^{2/3} = 3,254 \text{ км.}$$

15. Скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха (v) определяем по формуле (18), при этом для изотермии $K_7 = 5,877$.

$$v = K_7 \cdot V = 5,877 \cdot 2 = 11,754 \text{ км/ч}$$

16. Предельно возможное значение глубины переноса воздушных масс (Γ_n) определяем по формуле (17)

$$\Gamma_n = N \cdot v = 3 \cdot 11,754 = 35,262 \text{ км.}$$

17. Сравним значения Γ и Γ_n . Меньшее из них принимаем за расчетную глубину зоны химического заражения (Γ_p). Таким образом, $\Gamma_p = \Gamma = 3,254$ км. Продолжительность действия источника заражения равна времени испарения цианистого водорода с площади разлива $T = 39,64 \text{ ч} \approx 39 \text{ ч } 38 \text{ мин.}$

Пример 4. В результате аварии на химически опасном объекте образовалась зона химического заражения глубиной $\Gamma_p = 10$ км. Метеоусловия на момент аварии: инверсия, скорость ветра $V = 2$ м/с. Требуется определить площадь зоны заражения на время $N = 4$ ч после начала аварии.

РЕШЕНИЕ:

1. Площадь зоны возможного заражения облаком АХОВ (S) определяем по формуле (19)

$$S = 8,72 \cdot 10^{-3} \cdot \Gamma_p^2 \cdot \varphi = 8,72 \cdot 10^{-3} \cdot 10^2 \cdot 90 = 78,48 \text{ км}^2.$$

2. Площадь зоны фактического заражения (S_f) определяем по формуле (20)

$$S = K_3 \cdot \Gamma_p^2 \cdot N^{0.2} = 0,081 \cdot 10^2 \cdot 4^{0.2} = 10,69 \text{ км}^2.$$

Пример 5. В результате аварии на химически опасном объекте, расположенном на расстоянии $x=5$ км от города произошло разрушение емкости с аммиаком. Метеоусловия на момент аварии: изотермия, скорость ветра $V=4$ м/с. Требуется определить время подхода облака зараженного воздуха к границе города.

РЕШЕНИЕ:

1. Скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха (V) определяем по формуле (18), при этом для изотермии $K_7 = 5,877$

$$v = K_7 \cdot V = 5,877 \cdot 4 = 23,508 \text{ км/ч.}$$

2. Время подхода зараженного воздуха к границе города (τ) определяем по формуле (21)

$$\tau = \frac{x}{v} = \frac{5}{23,508} = 0,21 \text{ ч.}$$

10 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение АХОВ.
2. Назовите свойства веществ, которые относятся к АХОВИД. Приведите примеры веществ этого класса.
3. Что такое химически опасный объект?
4. Дайте определение химической аварии. На каких объектах химические аварии представляют наибольшую опасность?
5. Какие виды облаков зараженного воздуха могут возникать при химической опасности?
6. Опишите поведение сжатых и сниженных газов, а также ядовитых жидкостей при химической аварии.
7. Как влияет повышение температуры воздуха на опасность химических аварий, сопровождающихся разливом жидких АХОВ?
8. Назовите важнейшие факторы, влияющие на перенос и рассеивание облаков зараженного воздуха в атмосфере.
9. Назовите три степени вертикальной устойчивости воздуха и дайте их краткую характеристику.
10. При каких скоростях ветра дальность проникновения АХОВ в опасных концентрациях будет максимальной?
11. Под влиянием каких топографических условий местности изменяется режим воздушных потоков, характер рассеивания и поле концентраций АХОВ вблизи земли?
- 12.

13. Дайте определение понятиям «площадь зоны фактического заражения» и «площадь зоны возможного заражения».
14. От каких факторов зависят размеры зоны химического заражения?
15. Какие исходные данные для оценки масштабов химического заражения рекомендуется принимать при заблаговременном и оперативном прогнозировании?
16. В течение какого времени, прошедшего с момента химической аварии, можно считать, что метеоусловия сохраняются неизменными?
17. Каков порядок нанесения зон химического заражения на топографические карты и схемы?

ЛИТЕРАТУРА

1. Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций / С. А. Буланенков [и др.] ; под общ. ред. М. И. Фалеева. – Калуга : ГУП «Облиздат», 2001. – 480 с.
2. Владимирив, В. А. Аварийно химически опасные вещества (АХОВ). Методика прогнозирования и оценки химической обстановки: учебное пособие / В. А. Владимирив, В. С. Исаев. – М., 2000. – 56 с.
3. Обеспечение мероприятий и действий сил ликвидации чрезвычайных ситуаций / Волков С.С. [и др.] // Инженерное обеспечение мероприятий и действий сил ликвидации ЧС: в 3-х кн. / под общ. ред. С. К. Шойгу. – Калуга: ГУП «Облиздат», 2000. – Кн. 1. Способы и средства инженерного обеспечения ликвидации чрезвычайных ситуаций. – 420 с.
4. Пантюхов, А. П. Основы медицины катастроф : курс лекций / А. П. Пантюхов, И. Р. Боровко, Ю. А. Соколов. – Минск : БГМУ, 2012. – 154 с.
5. Руководящий документ. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях на химически опасных объектах и транспорте. РД 52.04.253-90. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 23 с.

Таблица для определения степени вертикальной устойчивости воздуха

Скорость ветра V , м/с	Ночь		Утро		День		Вечер	
	ясно, переменная облачность	сплошная облачность	ясно, переменная облачность	сплошная облачность	ясно, переменная облачность	сплошная облачность	ясно, переменная облачность	сплошная облачность
< 2	ин	из	из (ин)	из	к (из)	из	ин	из
2-4	ин	из	из (ин)	из	к (из)	из	из (ин)	из
> 4	из	из	из	из	из	из	из	из

Примечания:

1. Обозначения: ин – инверсия; из – изотермия; к – конвекция; буквы в скобках – при снежном покрове.
2. Под термином “утро” понимается период времени в течение 2 ч после восхода солнца; под термином “вечер” – период времени в течение 2ч после захода солнца
3. Скорость ветра и степень вертикальной устойчивости воздуха принимаются в расчётах на момент аварии.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Физико-химические и токсические характеристики наиболее распространённых АХОВ

Наименование АХОВ	Пороговая токсолога $D_{\text{мг/млн}}$	Максимальная концентрация, мг/млн, отн. ед.	Температура		Плотность		Коэффициенты для расчёта K_2			K_0
			плавления $t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	кипения $t_{\text{к}}, ^\circ\text{C}$	жидкости $d, \text{т/м}^3$	Газа $d_{\text{г}}, \text{т/м}^3$	A	B	C	
Аммиак	15	17.03	-77.75	-33.42	0.681	0.0008	4.504	390.7	273.15	3.401
Ацетонитрил	21.6	41.05	-42	81.6	0.786	-	8.411	1914.5	273.15	-
Ацетонциангидрин	1.9	85.1	-19	82	0.932	-	1.9586	21.376	20.29	-
Водород хлористый	2	36.46	-114.2	-85.08	1.191	0.0016	7.648	896.72	273.15	2.649
Водород фтористый	4	20.01	-83.36	19.52	0.989	-	11.462	4820.1	542.2	6.412
Водород цианистый	0.2	27.03	-13.3	25.65	0.687	-	8.312	1617.1	273.15	2.801
Диметиламин	1.2	45.09	-93	6.9	0.680	0.0020	7.1618	1046.68	238	4.538
Метиламин	1.2	31.06	-93.5	-6.3	0.699	0.0014	6.556	976.73	273.15	5.043
Метил бромистый	1.2	94.94	-93.7	3.56	1.732	-	5.903	777.53	238	2.509
Метил хлористый	10.8	50.49	-97.73	-24.2	0.983	0.0023	6.7693	854.2	244	2.909
Нитрил акриловой кислоты	0.75	53.06	-83.5	77.3	0.806	-	12.15	4893.4	465.1	-
Оксид этилена	2.2	44.05	-111.7	10.73	0.882	-	6.935	1029.35	244.14	5.46
Серистый ангидрид	1.8	64.06	-75.5	-10.1	1.462	0.0029	8.12	1389.2	273.15	3.685
Сероводород	16.1	34.08	-85.6	-60.35	0.964	0.0015	9.1214	1313.49	273.15	3.347
Сероуглерод	45	76.13	-111.9	46.24	1.263	-	13.56	7860.24	688	-
Соляная кислота (40 %)	2	36.46	-30	110	1.198	-	5.158	389.9	130.2	-
Формальдегид	0.6	30.03	-92	-19.2	0.815	-	6.52	766.38	230	4.833
Фосген	0.6	98.92	-118	8.2	1.432	0.0035	7.678	1350.6	273.15	4.244
Хлор	0.6	70.91	-101.03	-34.1	1.553	0.0032	4.7	434.5	273.15	3.36
Хлорпикрин	0.02	164.38	-69.2	112.3	1.658	-	14.474	7569	553.7	-

Примечание 1 – Плотности газообразных АХОВ приведены для атмосферного давления (101,325 кПа) и температуры 0 °С.

Учебное издание

Составители: Левчук Наталья Владимировна
Босак Виктор Николаевич
Головач Анна Петровна

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к практическим и лабораторным работам по курсу
«ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МАСШТАБОВ ЗАРАЖЕНИЯ
ПРИ ВЫБРОСАХ АВАРИЙНО-ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ
В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ»**

по дисциплинам
«Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций.
Радиационная безопасность»,
«Безопасность жизнедеятельности человека»
для студентов всех специальностей дневной и заочной форм обучения

Ответственный за выпуск: Левчук Н. В.
Редактор: Винник Н. С.
Корректор: Дударук С. А.
Компьютерная верстка: Сирота А. Р.

Издательство БрГТУ. Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 3/1569 от 16.10.2017 г. Подписано в печать 06.11.2024 г.

Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага «Performer». Гарнитура «Times New Roman».

Усл. п. л. 1,86. Уч.-изд. л. 2. Тираж 30 экз. Заказ № 1123.

Отпечатано на ризографе Учреждения образования
«Брестский государственный технический университет»
224017, Брест, ул. Московская, 267