

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСШТАБОВ ЗАРАЖЕНИЯ АВАРИЙНО ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ ПРИ АВАРИЯХ (РАЗРУШЕНИЯХ) НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

*Методические рекомендации к изучению курса
«Безопасность жизнедеятельности»
для студентов всех направлений подготовки*

Иваново 2014

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ивановский государственный политехнический университет»

Кафедра пожарной безопасности

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСШТАБОВ ЗАРАЖЕНИЯ АВАРИЙНО
ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ ПРИ АВАРИЯХ
(РАЗРУШЕНИЯХ) НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ**

*Методические рекомендации к изучению курса
«Безопасность жизнедеятельности»
для студентов всех направлений подготовки*

Иваново 2014

УДК 641.871

Методические рекомендации предназначены для студентов, изучающих курс «Безопасность жизнедеятельности», а также могут быть использованы при выполнении дипломных проектов для расчетов возможных масштабов заражения и разработки мероприятий по защите производственного персонала химически опасных объектов и населения.

Составитель канд. техн. наук В.А. Хрунов

Научный редактор канд. техн. наук, доц. М.В. Торопова

Редактор Е.Л. Аверьянова

Корректор А.В. Николаева

Подписано в печать 04.09.2014.
Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать плоская.
Усл. печ. л. 1,20. Тираж 30 экз. Заказ № 3457

Редакционно-издательский отдел
Ивановского государственного политехнического университета
Отдел оперативной полиграфии Текстильного института ИвГПУ
153000, г. Иваново, Шереметевский пр-т, 21

1. Общие положения

Аварийно химически опасное вещество (АХОВ) - это опасное химическое вещество, применяемое в промышленности и сельском хозяйстве, при аварийном выбросе (разливе) которого может произойти заражение окружающей среды в поражающих живой организм концентрациях.

Наиболее распространенными из АХОВ являются хлор, аммиак, сероводород, двуокись серы (сернистый газ), нитрил акриловой кислоты, синильная кислота фосген, метилмеркаптан, бензол, бромистый водород, фтор, фтористый водород.

Крупными запасами АХОВ располагают предприятия химической, целлюлозно-бумажной, нефтехимической промышленности, черной и цветной металлургии, промышленности минеральных удобрений. Значительные их количества сосредоточены на объектах пищевой, мясомолочной промышленности, на торговых базах, в жилищно-коммунальном хозяйстве. Например, на стандартной овощной базе хранится около 150 т аммиака, который используется в качестве хладагента в холодильниках, на станциях водоподготовки хранится до 400 т хлора.

На территории России насчитывается более 3 тысяч химически опасных объектов (ХОО). Суммарная площадь территории России, на которой могут возникнуть чрезвычайные ситуации, связанные с АХОВ, составляет около 300 тыс. км². На этой территории проживает более 60 млн. чел. Суммарный запас АХОВ на предприятиях России составляет 10 трлн. летальных доз.

Для характеристики токсических свойств АХОВ используются понятия: предельно допустимая концентрация (ПДК) и токсическая доза (токсодоза).

Предельно допустимая концентрация (ПДК) - концентрация, которая при ежедневном воздействии на человека в течение длительного времени не вызывает патологических изменений или заболеваний, обнаруживаемых современными методами диагностики. Она относится к 8-часовому рабочему дню и не может использоваться для оценки опасности аварийных ситуаций в связи с тем, что в чрезвычайных случаях время воздействия АХОВ весьма ограничено.

Под **токсодозой** понимается количество вещества, вызывающее определенный токсический эффект.

АХОВ могут попасть в окружающую среду при авариях и катастрофах, в результате разрушения трубопроводов, цистерн или резервуаров, поломки оборудования, нарушения технологии проведения работ, транспортных аварий, стихийных бедствий, при бесконтрольном сбрасывании химических веществ в моря и океаны, выбросах в атмосферу.

Химическая авария - авария на химически опасном объекте (ХОО), сопровождающаяся проливом или выбросом опасных химических веществ, способная привести к гибели людей или химическому заражению продовольствия, пищевого сырья и кормов, сельскохозяйственных животных и растений или окружающей природной среды.

В результате аварии возникает аварийная химическая обстановка; ее масштабы, возможные последствия, продолжительность в значительной мере зависят от типа АХОВ, количества вещества, метеоусловий, подготовленности населения к действиям в условиях химического заражения.

Оценка химической обстановки - это определение масштабов и характера заражения АХОВ, анализ их влияния на деятельность объектов экономики и сил ГО и ЧС, установление степени опасности для производственного персонала ХОО и населения.

Оценка химической обстановки проводится методом прогнозирования с последующими уточнениями по данным химической разведки и другим наблюдениям.

2. Зоны заражения АХОВ

В большинстве случаев при обычных условиях АХОВ находятся в газообразном или жидким состояниях. Однако при производстве, использовании, хранении и перевозке газообразные вещества, как правило, сжимают, приводя в жидкое состояние, что резко сокращает занимаемый ими объем.

В большинстве случаев при аварии и разрушении емкости давление над жидкими веществами падает до атмосферного, они вскипают и выделяются в атмосферу в виде газа, пара или аэрозоля. Облако АХОВ, образовавшееся в момент разрушения емкости в пределах первых 3 минут, называется *первичным облаком* зараженного воздуха. Оно распространяется на большие расстояния. Оставшаяся часть жидкости (особенно с температурой кипения выше 20°C) расте-

кается по поверхности и также постепенно испаряется. Пары (газы) поступают в атмосферу, образуя *вторичное облако* зараженного воздуха, которое распространяется на меньшее расстояние.

Таким образом, **зона заражения АХОВ** - это территория, зараженная ядовитыми веществами в опасных для жизни людей пределах (концентрациях).

Форма (вид) зоны заражения АХОВ в значительной мере зависит от скорости ветра. Так, например, при скорости 0,5 м/с и менее она принимается за окружность, при скорости 0,6÷1 м/с - за полуокружность, при скорости 1,1÷2 м/с - за сектор с углом в 90°, при скорости более 2 м/с - за сектор с углом в 45°.

Глубина зоны распространения зараженного воздуха зависит от концентрации АХОВ и скорости ветра. Например, при скорости ветра 1 м/с за один час облако от места аварии удалится на 5÷7 км, при 2 м/с - на 10÷14 км, а при 3 м/с - на 16÷21 км. Значительное увеличение скорости ветра (6÷7 м/с и более) способствует его быстрому рассеиванию.

На глубину зоны заражения АХОВ в значительной степени влияет степень вертикальной устойчивости воздуха, или, как мы говорим, погодные условия.

Степень вертикальной устойчивости воздуха (СВУВ) - различные его состояния, определяющие большую или меньшую возможность перемещения воздуха по вертикалам. СВУВ зависит от времени года и суток (день, ночь, утро, вечер), облачности (ясно, пасмурно) и температуры окружающей среды.

Принято различать три степени ВУВ:

- 1) *Инверсия* - такое состояние воздуха, когда его температура с высотой возрастает. Это наиболее устойчивое состояние, при котором отсутствуют восходящие потоки воздуха. Наблюдается ночью при ясной или малооблачной погоде и скорости ветра не более 4 м/с. Зимой при ясной или малооблачной погоде, слабом ветре и сильных морозах инверсия может наблюдаться не только ночью, но и днем. Инверсионные условия способствуют очень длительному сохранению опасных концентраций зараженного воздуха, так как рассеивание при инверсии протекает очень медленно. Зараженный воздух будет оставаться внизу, плавно перемещаясь по поверхности земли и передвигаясь на большие расстояния по горизонтали.

- 2) *Изотермия* - это такое состояние воздуха, когда его температура с высотой практически не меняется. Наблюдается в любое время года и суток, при пасмурной погоде, независимо от скорости ветра или при скорости ветра более 4 м/с. Кроме того, изотермия наблюдается как переходное состояние от инверсии к конвекции утром и от конвекции к инверсии вечером. Интенсивность рассеивания зараженного воздуха несколько больше, чем при инверсии. Степень воздействия АХОВ на людей в условиях изотермии будет высокой.
- 3) *Конвекция* - перемещение воздуха с одних уровней на другие, зависящие от разницы температур. Конвекция наблюдается в теплую половину года в дневные часы при ясной погоде и скорости ветра не более 4 м/с. Конвекционные потоки создают условия, определяющие быстрое рассеивание зараженного воздуха. При конвекции АХОВ будут быстро распространяться во все большем объеме воздуха и понижать свою концентрацию, т.е. рассеиваться.

Надо иметь в виду, что здания и сооружения городской застройки нагреваются солнечными лучами быстрее, чем расположенные в сельской местности. Поэтому в городе наблюдается интенсивное движение воздуха, связанное обычно с его притоком от периферии к центру по магистральным улицам. Это способствует проникновению АХОВ во дворы, тупики, подвальные помещения и создаёт повышенную опасность поражения населения.

3. Определение масштабов заражения АХОВ при авариях на химически опасных объектах

Основным официальным документом по вопросам прогнозирования обстановки при авариях на химически опасных объектах является РД 52.04.253-90 «Методика прогнозирования масштабов загрязнения АХОВ при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте».

Методика рассчитана на получение информации в оперативных целях. Прогнозирование и оценка химической обстановки производится с использованием усредненных данных, сведенных в таблицы (см. прил. 1), и несложных математических формул.

Внешние границы зон заражения рассчитываются по пороговой токсодозе АХОВ (*пороговая токсодоза* - это ингаляционная токсодоза, вызывающая начальные симптомы поражения).

Для прогнозирования глубин зоны заражения введено понятие **эквивалентного количества АХОВ**, под которым понимается такое количество хлора, масштаб заражения которым при инверсии и температуре 20°C эквивалентен масштабу заражения данным АХОВ при конкретных метеоусловиях, перешедшим в первичное или вторичное облако.

Токсичность любого АХОВ по отношению к хлору, свойства, влияющие на образование зараженного облака, а также другие (отличные от стандартных) метеоусловия учитываются специальными коэффициентами, по которым рассчитывается эквивалентное количество АХОВ.

Масштабы заражения АХОВ в зависимости от их агрегатного состояния рассчитываются по первичному и вторичному облаку, например:

- для сжиженных газов - отдельно по первичному и вторичному облаку;
- для сжатых газов - только по первичному облаку;
- для ядовитых жидкостей, имеющих температуру кипения выше температуры окружающей среды, - только по вторичному облаку.

При прогнозировании применяются следующие допущения:

- 1) при авариях емкости, содержащие АХОВ, разрушаются полностью;
- 2) при авариях на газо- и продуктопроводах выброс АХОВ принимается равным максимальному количеству АХОВ, содержащемуся в трубопроводе между автоматическими отсекателями;
- 3) при разрушении ХОО выброс АХОВ принимается по совокупному объему всех емкостей с АХОВ;
- 4) толщина слоя разлившейся свободно по подстилающей поверхности ядовитой жидкости принимается равной 0,05 м по всей площади разлива;
- 5) при проливе в поддон или обваловку толщина слоя жидкости принимается равной:

$$h=H-0,2, \quad (1)$$

где Н - глубина поддона (высота обваловки), м;

- 6) продолжительность сохранения неизменными метеорологических условий составляет 4 часа. По истечении указанного времени прогноз обстановки должен уточняться.

Определение масштабов заражения АХОВ включает:

- определение эквивалентного количества вещества по первичному облаку;
- определение эквивалентного количества вещества по вторичному облаку;
- расчет глубины и площади зоны заражения при аварии на ХОО;
- расчет глубины и площади зоны заражения при разрушении ХОО;
- определение времени действия источника заражения;
- определение возможных потерь персонала ХОО и населения при аварии на ХОО и его разрушении.

3.1. Определение эквивалентного количества вещества, образующего первичное облако

Эквивалентное количество вещества по первичному облаку (в тоннах) определяется по формуле:

$$Q_{\text{Э1}} = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot Q_0, \quad (2)$$

где K_1 - коэффициент, зависящий от условий хранения АХОВ (определяет относительное количество АХОВ, переходящее при аварии в газ). Для сжатых газов $K_1=1$, в других случаях коэффициент зависит от вида АХОВ и определяется по табл. П2;

K_3 - коэффициент, учитывающий отношение пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе данного АХОВ, определяется по табл. П2;

K_5 - коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости воздуха. Для инверсии принимается равным 1, для изотермии - 0,23, для конвекции - 0,08;

K_7 - коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха, определяется по табл. П2 (для сжатых газов $K_7=1$);

Q_0 - количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества в тоннах.

3.2. Определение эквивалентного количества вещества, образующего вторичное облако

Эквивалентное количество вещества по вторичному облаку (в тоннах) определяется по формуле:

$$Q_{\mathcal{E}2} = (1 - K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot \frac{Q_0}{h \cdot d}, \quad (3)$$

где K_2 - коэффициент, зависящий от физико-химических свойств АХОВ (удельная скорость испарения - количество испарившегося вещества в тоннах с площади 1 м^2 за 1 час, $\text{т}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$), определяется по табл. П2;

K_4 - коэффициент, учитывающий скорость ветра, определяется по табл. П4;

K_6 - коэффициент, зависящий от времени N , прошедшего после начала аварии. Значение коэффициента K_6 определяется в зависимости от продолжительности испарения вещества T :

$$K_6 = N^{0,8} \text{ при } N < T;$$

$$K_6 = T^{0,8} \text{ при } N \geq T;$$

$$K_6 = 1 \text{ при } T < 1 \text{ ч};$$

h - высота слоя разлившегося АХОВ, м;

d - плотность АХОВ, $\text{т}/\text{м}^3$, определяется по табл. П2.

Некоторые значения $N(T)^{0,8}$ приведены в табл. П5.

Время испарения с площади разлива, или время действия источника заражения (в часах), определяется по формуле:

$$T = \frac{h \cdot d}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7}. \quad (4)$$

3.3. Расчет глубины зоны заражения при аварии на ХОО

Расчет глубины зоны заражения первичным (вторичным) облаком АХОВ при авариях на технологических емкостях, хранилищах и транспорте ведется с помощью табл. П1.

В данной таблице приведены максимальные значения глубин зон заражения первичным Γ_1 (по $Q_{\mathcal{E}1}$) или вторичным облаком АХОВ Γ_2 (по $Q_{\mathcal{E}2}$), определяемые в зависимости от эквивалентного количества вещества и скорости ветра.

Максимально возможная глубина зоны заражения Γ (в километрах), обусловленная первичным и вторичным облаками, определяется по формуле:

$$\Gamma = \Gamma' + 0,5 \cdot \Gamma'', \quad (5)$$

где Γ' - наибольший, а Γ'' - наименьший из полученных размеров Γ_1 и Γ_2 .

Значение Γ сравнивается с предельно возможным значением глубины переноса зараженных воздушных масс Γ_P , которое определяется по формуле:

$$\Gamma_P = N \cdot V_P, \quad (6)$$

где V_P - скорость (в км/ч) переноса переднего фронта зараженного воздуха при данных скорости ветра и степени вертикальной устойчивости воздуха, определяется по табл. П6;

N - время после начала аварии, ч.

За окончательную расчетную глубину зоны заражения принимается минимальная (наименьшая) из величин Γ и Γ_P .

Указанный выбор можно объяснить следующим образом:

- при $\Gamma < \Gamma_P$ переносимый зараженный воздух на дальностях $\Gamma > \Gamma_P$ имеет концентрацию меньше пороговой токсодозы;
- при $\Gamma > \Gamma_P$ перенос не может быть осуществлен на расстояние больше Γ_P .

3.4. Расчет площади зоны заражения

Различают зоны возможного и фактического заражения АХОВ.

Площадь зоны возможного заражения АХОВ - это площадь территории, в пределах которой под воздействием изменения направления ветра (заданных метеоусловиях) может перемещаться облако АХОВ. Зона возможного заражения ограничена окружностью, полуокружностью или сектором, имеющим угловые размеры φ и радиус, равный глубине зоны заражения Γ . Центр окружности, полуокружности или сектора совпадает с источником заражения (см. рис. 1).

Площадь зоны возможного заражения облаком АХОВ рассчитывается по формуле:

$$S_B = \frac{\pi \cdot \Gamma^2 \cdot \varphi}{360^\circ}. \quad (7)$$

Значение углового размера зоны заражения φ зависит от скорости ветра в приземном слое и принимается: 360° - при скорости 0,5 м/с и менее; 180° - при скорости $0,6 \div 1$ м/с; 90° - при скорости $1,1 \div 2$ м/с; 45° - при скорости более 2 м/с.

Границы зоны возможного заражения наносят на схемы и карты для выработки и принятия решения по организации защиты персонала объектов и населения при условии, что они оказались (окажутся) в пределах границ зоны возможного заражения.

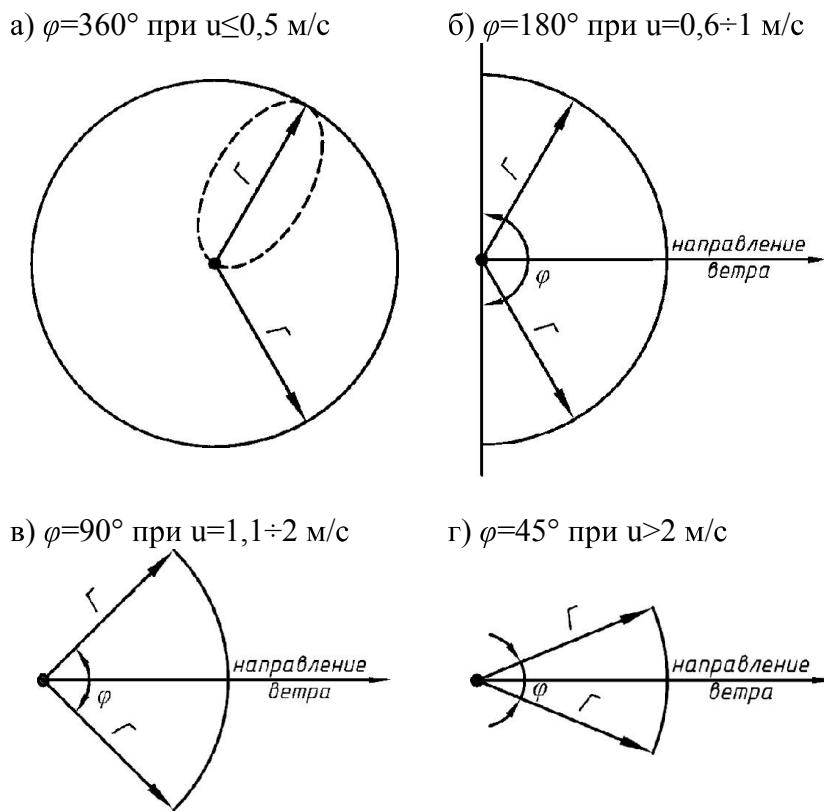


Рис. 1. Конфигурация зоны возможного заражения АХОВ
в зависимости от скорости ветра в приземном слое

Площадь зоны фактического заражения АХОВ - это площадь территории, воздушное пространство которой заражено АХОВ в опасных для жизни пределах. Конфигурация зоны фактического заражения близка к эллипсу, который не выходит за пределы зоны возможного заражения и может перемещаться в ее пределах под воздействием ветра (см. рис. 1,а). Ее размеры используются для определения возможной численности пораженного населения и количества сил и средств, необходимых для проведения спасательных работ. Изображение зоны фактического заражения на схемы и карты не наносится.

Площадь зоны фактического заражения облаком АХОВ рассчитывается по формуле:

$$S_\phi = K_8 \cdot \Gamma^2 \cdot N^{0,2}, \quad (8)$$

где K_8 - коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости воздуха. Для инверсии принимается равным 0,081, для изотермии - 0,133, для конвекции - 0,235; некоторые значения $N^{0,2}$ приведены в табл. П5.

3.5. Определение времени подхода зараженного воздуха к заданной границе (объекту)

Время подхода облака АХОВ (в часах) к заданному рубежу (объекту), расположенному на пути его движения, определяется по формуле:

$$t = \frac{X}{V_{\Pi}}, \quad (9)$$

где X - расстояние от источника заражения до выбранного рубежа (объекта), км.

Следует помнить: если расчетное время подхода зараженного воздуха к объекту (населенному пункту) составляет 10 минут и более, то это позволит принять меры по защите людей, если меньше - то не позволит.

3.6. Определение продолжительности поражающего действия АХОВ

Время поражающего действия АХОВ (продолжительность заражения) определяется временем его испарения с площади разлива, которое зависит от фактических свойств ядовитого вещества, площади и высоты столба разлившейся жидкости (см. формулу (4)). При образовании только первичного облака принимается равным 1 часу.

3.7. Определение возможных потерь людей в зонах заражения АХОВ

Возможные потери людей при авариях с выбросом АХОВ зависят в основном от степени обеспечения персонала ХОО и населения средствами индивидуальной защиты и защитными сооружениями. Потери людей в зависимости от обеспеченности средствами защиты, а также ориентировочная структура потерь определяются по табл. П7.

Если персонал объектов обеспечен противогазами на 100% и укрывается в убежищах, то процент потерь в этом случае принимается равным 0.

4. Определение масштабов заражения АХОВ при разрушении химически опасного объекта

В случае разрушения ХОО при прогнозировании глубины зоны заражения рекомендуется брать данные на одновременный выброс суммарного запаса АХОВ на объекте и следующие метеорологические условия: инверсия, скорость ветра 1 м/с.

Эквивалентное количество АХОВ в облаке зараженного воздуха определяется аналогично рассмотренному в п. 3.2 методу для вторичного облака при свободном разливе. При этом суммарное эквивалентное количество рассчитывается по формуле:

$$Q_{\mathcal{E}} = 20 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot \sum_{i=1}^n (K_{2i} \cdot K_{3i} \cdot K_{6i} \cdot K_{7i} \cdot \frac{Q_i}{d_i}). \quad (10)$$

Значение глубины зоны заражения Γ в зависимости от рассчитанного значения $Q_{\mathcal{E}}$ и скорости ветра сравнивается с предельно возможным значением глубины переноса воздушных масс Γ_P (см. формулу (6)). За окончательную расчетную глубину зоны заражения принимается меньшее из двух сравниваемых между собой значений.

За общую площадь зоны фактического заражения принимается максимальная величина из рассчитанных для каждого АХОВ значений.

Продолжительность действия источника заражения определяется наибольшим временем испарения данных АХОВ.

5. Выводы

В заключение на основании проведенных в соответствии с методикой прогнозирования расчетов и схемы зоны заражения делаются выводы, в которых определяются:

- 1) окажется или не окажется объект (населенный пункт) в зоне химического заражения;
- 2) время подхода зараженного воздуха к объекту (населенному пункту) t ;
- 3) время поражающего действия АХОВ, в течение которого необходимо обеспечивать защиту людей, T ;
- 4) возможные потери людей при воздействии АХОВ;
- 5) мероприятия по защите населения и территорий, которые необходимо провести немедленно.

Кроме того, принимается решение на ликвидацию последствий данной чрезвычайной ситуации.

6. Мероприятия по защите населения и персонала в случае аварии на АХО

В случае аварии с целью защиты людей проводятся следующие мероприятия:

- 1) *Оповещение населения.* Должны быть подготовлены варианты оповещения в зависимости от характера и масштабов аварий и метеоусловий. На соответствующих территориях проживания людей должна быть выдана информация о том, что необходимо предпринять (например, при угрозе аварии - приготовиться к переходу или эвакуации транспортом, а при возникновении аварии - покинуть такие-то кварталы в таком-то направлении). Для своевременного оповещения населения и персонала о возникновении непосредственной опасности поражения АХОВ заранее подготовленным образом подается сигнал «Химическая опасность» с добавлением названия соответствующего АХОВ.
- 2) *Приведение в готовность и действие органов управления, организации связи.*
- 3) *Приведение в готовность необходимых сил для обеспечения эвакуации, дегазации, выдачи средств индивидуальной защиты (СИЗ) и др.*
- 4) *Укрытие населения в защитных сооружениях.*
- 5) *Химическая разведка*, необходимая для выявления границ зоны заражения, степени заражения и др.
- 6) *Противохимическая защита населения* - применение СИЗ и др.
- 7) *Медицинская защита населения* для оказания помощи пострадавшим от АХОВ и других воздействий.
- 8) *Эвакуация населения* из зон химического заражения и в первую очередь людей, не укрытых в защитных сооружениях.
- 9) *Ликвидация сопутствующих аварийных процессов*: пожаров, технологических аварий и т.д.
- 10) *Санитарная обработка* людей и обеззараживание техники, оборудования и т.д.
- 11) *Дегазация зараженных территорий*, в первую очередь особо необходимых.
- 12) *Обеспечение жизнедеятельности людей*: пострадавших, эвакуированных, оставшихся без крова.
- 13) *Охрана общественного порядка*: контроль входа на зараженные территории, обеспечение нормальной эвакуации, беспрепятственной деятельности формирований и т.д.

Приложение 1

Таблица П1
Глубина (км) зоны возможного заражения АХОВ

Скорость ветра, м/с	Эквивалентное количество АХОВ, т								
	0,01	0,05	0,1	0,5	1	3	5	10	20
1 и менее	0,38	0,85	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,20	29,56
2	0,26	0,59	0,84	1,92	2,84	5,35	7,20	10,83	16,44
3	0,22	0,48	0,68	1,53	2,17	3,99	5,34	7,96	11,94
4	0,19	0,42	0,59	1,33	1,88	3,28	4,36	6,46	9,62
5	0,17	0,38	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53	8,19
6	0,15	0,34	0,48	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88	7,20
7	0,14	0,32	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,49	6,48
8	0,13	0,30	0,42	0,94	1,33	2,30	2,97	4,20	5,92
9	0,12	0,28	0,40	0,88	1,25	2,17	2,80	3,96	5,60
10	0,12	0,26	0,38	0,84	1,19	2,06	2,66	3,76	5,31
11	0,11	0,25	0,36	0,80	1,13	1,96	2,53	3,58	5,06
12	0,11	0,24	0,34	0,76	1,08	1,88	2,42	3,43	4,85
13	0,10	0,23	0,33	0,74	1,04	1,80	2,37	3,29	4,66
14	0,10	0,22	0,32	0,71	1,00	1,74	2,24	3,17	4,49
15 и более	0,10	0,22	0,31	0,69	0,97	1,68	2,17	3,07	4,34

Скорость ветра, м/с	Эквивалентное количество АХОВ, т								
	30	50	70	100	300	500	700	1000	2000
1 и менее	38,13	52,67	65,23	81,91	166	231	288	363	572
2	21,02	28,73	35,35	44,09	87,79	121	150	189	295
3	15,18	20,59	25,21	31,30	61,47	84,50	104	130	202
4	12,18	16,43	20,05	24,80	48,18	65,92	81,17	101	157
5	10,33	13,88	16,89	20,82	40,11	54,67	67,15	83,60	129
6	9,06	12,14	14,79	18,13	34,67	47,09	56,72	71,70	110
7	8,14	10,87	13,17	16,17	30,73	41,63	50,93	63,16	96,30
8	7,42	9,90	11,98	14,68	27,75	37,49	45,79	56,70	86,20
9	6,86	9,12	11,03	13,50	25,39	34,24	41,76	51,60	78,30
10	6,50	8,50	10,23	12,54	23,49	31,61	38,50	47,53	71,90
11	6,20	8,01	9,61	11,74	21,91	29,44	35,81	44,15	66,62
12	5,94	7,67	9,07	11,06	20,58	27,61	35,55	41,30	62,20
13	5,70	7,37	8,72	10,48	19,45	26,04	31,62	38,90	58,44
14	5,50	7,10	8,40	10,04	18,46	24,69	29,95	36,81	55,20
15 и более	5,31	6,86	8,11	9,70	17,60	23,50	28,48	34,98	52,37

Таблица П2

Характеристики АХОВ и вспомогательные коэффициенты для определения глубины зоны заражения

№ п/п	АХОВ	Плотность АХОВ, т/м ³		Температура кипения, °С	Пороговая токсодоза, мг·мин л	K_1	K_2	K_3	Значения вспомогательных коэффициентов K_7 для температуры воздуха (°С)			
		газ	жидкость						-40	-20	0	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Акролеин (H_2C)	-	0,839	52,7	0,2	0	0,013	3	0,1	0,2	0,1	1
2	Аммиак (NH_3)											2,2
	хранение под давлением	0,0008	0,681	-33,42	15	0,18	0,025	0,04	0,9	0,3	0,6	1
	изотермическое хранение	-	0,681	-33,42	15	0,01	0,025	0,04	0,9	0,1	1	1,4
3	Ацетонитрил (C_2H_3N)	-	0,786	81,6	21,6**	0	0,004	0,028	0,02	0,3	1	1
4	Ацетоницангидрин (C_4H_7NO)	-	0,932	120	1,9**	0	0,002	0,316	0	0	0,3	1
5	Водород мышьяковистый (AsH_3)	0,0035	1,64	-62,47	0,2**	0,17	0,054	3,0	0,3	0,5	0,8	1
6	Водород фтористый (HF)	-	0,989	19,52	4	0	0,028	0,15	0,1	0,2	0,5	1
7	Водород хлористый (HCl)	0,0016	1,191	-85,10	2	0,28	0,037	0,30	0,4	0,6	0,8	1
8	Водород бромистый (HBr)	0,0036	1,490	-66,77	2,4*	0,13	0,055	0,25	0,3	0,5	0,8	1
9	Водород цианистый (HCN)	-	0,687	25,7	0,2	0	0,026	3,0	0	0	0,4	1
10	Диметиламин ((CH_3) ₂ NH)	0,0020	0,680	6,9	1,2*	0,06	0,041	0,5	0,1	0,3	0,8	1
11	Метиламин (CH_5N)	0,0014	0,699	-6,5	1,2*	0,13	0,034	0,5	0,3	0,7	1	1,8
12	Метил бромистый (CH_3Br)	-	1,732	3,6	1,2*	0,04	0,039	0,5	0,2	0,4	0,9	1
13	Метил хлористый (CH_3Cl)	0,0023	0,983	-23,76	10,8**	0,125	0,044	0,056	0,5	0,1	0,6	1,5

Продолжение табл. П2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
14	Метилакрилат ($C_4H_6O_2$)	-	0,953	80,2	6*	0	0,005	0,1	0,1	0,2	0,4	1	3,1
15	Метилмеркаптан (CH_3S)	-	0,867	5,95	1,7**	0,06	0,043	0,353	0,1	0,3	0,8	1	2,4
16	Нитрил акриловой кислоты (C_3H_3N)	-	0,806	77,3	0,75	0	0,007	0,80	0,04	0,1	0,4	1	2,4
17	Окислы азота	-	1,491	21,0	1,5	0	0,040	0,40	0	0	0,4	1	1
18	Окись этилена (C_2H_4O)	-	0,882	10,7	2,2**	0,05	0,041	0,27	0,1	0,3	0,7	1	3,2
19	Сернистый ангидрид (SO_2)	0,0029	1,462	-10,1	1,8	0,11	0,049	0,333	0,2	0,5	0,3	1	1,7
20	Сероводород (H_2S)	0,0015	0,964	-60,35	16,1	0,27	0,042	0,036	0,3	0,5	0,8	1	1,2
21	Сероуллерод (C_2S)	-	1,263	46,2	45	0	0,021	0,013	0,1	0,2	0,4	1	2,1
22	Соляная кислота (концентрированная) (HC_l)	-	1,198	-	2	0	0,021	0,30	0	0,1	0,3	1	1,6
23	Триметиламин ($(CH_3)_3N$)	-	0,671	2,9	6*	0,07	0,047	0,1	0,1	0,4	0,9	1	2,2
24	Формальдегид (CH_2O)	-	0,815	-19,0	0,6*	0,19	0,034	1,0	0,4	0,1	0,5	1	1,5
25	Фосген ($COCl_2$)	0,0035	1,432	8,2	0,6	0,05	0,061	1,0	0,1	0,3	0,7	1	2,7
26	Фтор (F)	0,0017	1,512	-188,2	0,2*	0,95	0,038	3,0	0,7	0,8	0,9	1	1,1
27	Фосфор треххлористый (PCl_3)	-	1,570	75,3	3	0	0,010	0,2	0,1	0,2	0,4	1	2,3
28	Фосфора хлорокись ($POCl_3$)	-	1,675	107,2	0,06*	0	0,003	10,0	0,05	0,1	0,3	1	2,6
29	Хлор (Cl)	0,0032	1,553	-34,1	0,6	0,18	0,052	1,0	0,9	0,3	0,6	1	1,4
30	Хлорпикрин (CCl_3NO_2)	-	1,658	112,3	0,02	0	0,002	30,0	0,03	0,1	0,3	1	2,9

Окончание табл. П2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
31	Хлорциан (C/CN)	0,0021	1,220	12,6	0,75	0,04	0,048	0,80	0	0	0	0,6	1	<u>3,9</u> 1
32	Этиленимин (C_2H_5N)	-	0,838	55,0	4,8	0	0,009	0,125	0,05	0,1	0,4	1	2,2	
33	Этиленсульфид (C_2H_4S)	-	1,005	55,0	0,1*	0	0,013	6,0	0,05	0,1	0,4	1	2,2	
34	Этилмеркаптан (C_2H_5SH)	-	0,839	35	2,2**	0	0,028	0,27	0,1	0,2	0,5	1	1,7	

Примечания:

- Плотности газообразных АХОВ в графе 3 приведены для атмосферного давления; при давлении в ёмкости, отличном от атмосферного, плотности определяются путём умножения данных графы 3 на значение давления в атмосферах (1 атм = 760 мм рт. ст.).
- Значения K_7 в графах 10-14 в числителе приведены для первичного, в знаменателе - для вторичного облака.
- В графике 6 численные значения токсодоз, помеченные звездочками, определены ориентировочно по соотношению: $D=240 \cdot K \cdot ПДК_{р.3}$, где D - токсодоза, мг·мин/л, $ПДК_{р.3}$ - ПДК рабочей зоны, мг/л, по ГОСТ 12.1.005-88; $K=5$ - для раздражающих ядов (помечены одной звездочкой); $K=9$ - для всех прочих ядов (помечены двумя звездочками).
- Значения K_7 для изотермического хранения аммиака приведены для случая разлива (выброса) в поддон.

Таблица П3

Определение степени вертикальной устойчивости
воздуха по прогнозу погоды

Ско- рость ветра, м/с	Ночь		Утро		День		Вечер	
	ясно, пе- ременная облач- ность	сплошная облач- ность						
< 2	ин	из	из (ин)	из	к (из)	из	ин	из
2 - 3,9	ин	из	из (ин)	из	из	из	из (ин)	из
> 4	из	из	из	из	из	из	из	из

Примечания:

- Обозначения: «ин» - инверсия, «из» - изотермия, «к» - конвекция; буквы в скобках - при снежном покрове.
- Под термином «утро» понимается период времени в течение 2 ч после восхода солнца, под термином «вечер» - в течение 2 ч после захода солнца. Период от восхода до захода солнца за вычетом двух утренних часов - день, а период от захода до восхода солнца за вычетом двух вечерних часов - ночь.
- Скорость ветра и степень вертикальной устойчивости воздуха принимаются в расчетах на момент аварии.

Таблица П4

Значение коэффициента K_4 в зависимости от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
K_4	1	1,33	1,67	2,0	2,34	2,67	3,0	3,34	3,67	4,0	5,68

Таблица П5

Значения $N(T)^{0,8}$ и $N^{0,2}$

N/T , мин	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
$N(T)^{0,8}$	0,14	0,24	0,33	0,42	0,50	0,57	0,65	0,72	0,79	0,86	0,93
$N^{0,2}$	0,61	0,70	0,76	0,80	0,84	0,87	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98

N/T , ч	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
$N(T)^{0,8}$	1,00	1,74	2,41	3,03	3,62	4,19	4,74	5,28	5,80	6,31	8,73
$N^{0,2}$	1,00	1,15	1,25	1,32	1,38	1,43	1,48	1,52	1,55	1,58	1,72

Таблица П6

**Скорость (км/ч) переноса переднего фронта облака зараженного воздуха
в зависимости от скорости ветра**

Состояние атмосферы (степень вертикальной устойчивости)	Скорость ветра, м/с														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Инверсия	5	10	16	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Изотермия	6	12	18	24	29	35	41	47	53	59	65	71	76	82	88
Конвекция	7	14	21	28											

Таблица П7

Возможные потери людей в зонах заражения АХОВ, %

Условия нахождения людей	Без противогазов	Обеспеченность противогазами, %								
		20	30	40	50	60	70	80	90	100
Открыто	90-100	75	65	58	50	40	35	25	18	10
В простейших укрытиях	50	40	35	30	27	22	18	14	9	4

Примечания:

- Структура потерь людей в очаге поражения:
 - легкой степени - 25%;
 - средней и тяжелой степени - 40%;
 - со смертельным исходом - 35%.
- Потери по каждой структуре округляются до целого числа.
- Если доля возможных потерь составляет 10% и более, то это окажет существенное влияние на работу объекта экономики, если меньше - не окажет.

Пример решения задачи

Исходные данные: В результате аварии произошла утечка хлора из емкости. Общее количество хлора 12 т. Емкость не обвалована. Скорость ветра в приземном слое 2 м/с. Направление ветра - восточное. Температура воздуха +20°C. Состояние атмосферы - изометрия. Ночь. Определить размеры, площадь химического заражения и возможные потери среди населения через 1 час после аварии. Расстояние от места аварии до городских кварталов составляет 3,6 км. Средняя плотность населения в городе 3000 чел./км². 50% населения обеспечено противогазами.

Определить полную глубину зоны химического заражения, площади зон возможного и фактического заражения, продолжительность действия облака зараженного воздуха, время подхода облака зараженного воздуха к городу, возможные потери среди населения и структуру возможных потерь.

Решение:

1. Определение эквивалентного количества вещества, образующего первичное облако, по формуле (2):

$$Q_{\mathcal{E}1} = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot Q_0 = 0,18 \cdot 1 \cdot 0,23 \cdot 1 \cdot 12 = 0,5 \text{ т},$$

где $K_1=0,18$ (табл. П2);

$K_3=1$ (табл. П2);

$K_5=0,23$ для изотермии;

$K_7=1$ (табл. П2).

2. Определение эквивалентного количества вещества, образующего вторичное облако, по формуле (3):

$$Q_{\mathcal{E}2} = (1-K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot \frac{Q_0}{h \cdot d} = \\ = (1-0,18) \cdot 0,052 \cdot 1 \cdot 1,33 \cdot 0,23 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{12}{0,05 \cdot 1,553} = 2,02 \text{ т},$$

где $h=0,05$ м - для свободно разлившейся жидкости;

$d=1,553 \text{ т}/\text{м}^3$ (табл. П2);

$K_2=0,052$ (табл. П2);

$K_4=1,33$ (табл. П4);

$K_5=0,23$ для изотермии;

$K_6=1$, $K_7=N^{0,8}$ при $N=1$ ч < $T=1,13$ ч.

Время испарения АХОВ с площади разлива (продолжительность поражающего действия АХОВ) определяем по формуле (4):

$$T = \frac{h \cdot d}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7} = \frac{0,05 \cdot 1,553}{0,052 \cdot 1,33 \cdot 1} = 1,13 \text{ ч.}$$

3. Расчет глубины зоны заражения

Максимальные значения глубины зоны заражения первичным облаком Γ_1 и вторичным облаком Γ_2 определяются по табл. П1 в зависимости от $Q_{\mathcal{E}1}$ и $Q_{\mathcal{E}2}$ и скорости ветра:

$$\Gamma_1 = 1,92 \text{ км};$$

$$\Gamma_2 = 4,12 \text{ км.}$$

Полная глубина зоны заражения определяется по формуле (5):

$$\Gamma = \Gamma' + 0,5 \cdot \Gamma'' = 4,12 + 0,5 \cdot 1,92 = 5,08 \text{ км.}$$

Полученное значение Γ сравнивается с предельно возможным значением глубины переноса зараженных воздушных масс Γ_P , которое определяется по формуле (6):

$$\Gamma_P = N \cdot V_P = 1 \cdot 12 = 12 \text{ км,}$$

где $V_P = 12 \text{ км/ч}$ (табл. П6).

За окончательную расчетную глубину зоны заражения принимается наименьшая из величин Γ и Γ_P .

$\Gamma = 5,08 \text{ км} < \Gamma_P = 12 \text{ км}$, следовательно, глубину зоны заражения принимаем равной 5,08 км.

4. Определение площади зон возможного и фактического заражения

Площадь зоны возможного заражения рассчитывается по формуле (7):

$$S_B = \frac{\pi \cdot \Gamma^2 \cdot \varphi}{360^\circ} = \frac{3,14 \cdot 5,08^2 \cdot 90^\circ}{360^\circ} = 20,27 \text{ км}^2,$$

где $\varphi = 90^\circ$ при скорости ветра 2 м/с.

Зона заражения имеет вид сектора с углом $\varphi = 90^\circ$, радиус сектора $\Gamma = 5,08 \text{ км}$; биссектриса сектора совпадает с осью следа облака и ориентирована по направлению ветра (см. рис. 2).

Площадь зоны фактического заражения рассчитывается по формуле (8):

$$S_\phi = K_8 \cdot \Gamma^2 \cdot N^{0,2} = 0,133 \cdot 5,08^2 \cdot 1^{0,2} = 3,43 \text{ км}^2,$$

где $K_8 = 0,133$ для изотермии.

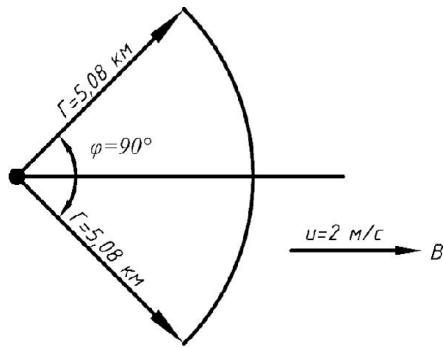


Рис. 2. Схема зоны возможного заражения

5. Определение времени подхода зараженного воздуха к заданной границе

Время подхода облака АХОВ к заданной границе определяется по формуле (9):

$$t = \frac{X}{V_{\Pi}} = \frac{3,6}{12} = 0,3 \text{ ч},$$

где $X = 3,6$ км - расстояние до городских кварталов;

$V_{\Pi} = 12$ км/ч (табл. П6).

6. Определение возможных потерь среди населения в зоне заражения АХОВ

Для расчета необходимо определить площадь «загородной» части облака. Расчет ведем по формуле (8):

$$S_{\Phi.3} = K_8 \cdot \Gamma^2 \cdot N^{0,2} = 0,133 \cdot 3,6^2 \cdot 1^{0,2} = 1,73 \text{ км}^2.$$

Для определения «городской» зоны фактического заражения необходимо из общей зоны фактического заражения S_{Φ} вычесть площадь зоны фактического заражения «загородной» зоны $S_{\Phi.3}$:

$$S_{\Phi.G} = 3,43 - 1,73 = 1,7 \text{ км}.$$

Определяем количество жителей в городской зоне фактического заражения: $S_{\Phi} \cdot \Delta = 1,7 \cdot 3000 = 5100$ чел., где $\Delta = 3000$ чел./ км^2 - плотность населения в городе.

Согласно исходным данным в момент аварии люди находились в простейших укрытиях (зданиях); обеспеченность людей противогазами на момент аварии – 50%. По табл. П7 определяем количество потерь среди населения: $0,27 \cdot 5100 = 1377$ чел.

Структура потерь людей в очаге поражения:

- легкой степени - 25% = 344 чел.;
- средней и тяжелой степени - 40% = 551 чел.;
- со смертельным исходом - 35% = 482 чел.

Список литературы

1. РД 52.04.253-90. Методика прогнозирования масштабов загрязнения АХОВ при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте.
2. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
3. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козыяков [и др.]; под общ. ред. С.В. Белова.—7-е изд., стер.—М.: Высшая школа, 2007.—616 с.
4. Владимиров, В.А. Аварийно химически опасные вещества: учебное пособие / В.А. Владимиров , В.С. Исаев.—М.: Военные знания, 2000.—56 с.
5. Владимиров, В.А. Методика прогнозирования и оценки обстановки при выбросах в окружающую среду хлора и других аварийно химически опасных веществ // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования / В.А. Владимиров , В.С. Исаев.—2012.—№1.—С.656-676.