Нормативные документы в сфере деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору




Серия 27

Декларирование промышленной безопасности и оценка риска

Выпуск 11

# РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ «МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ»

2015

gost.e-ecolog.ru

Нормативные документы в сфере деятельности
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору

Серия 27
Декларирование промышленной безопасности
и оценка риска

Выпуск 11

# РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ «МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ»

Москва
ЗАО НТЦ ПБ
2015

ББК 30н
Р84

Р84 **Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ». Серия 27. Выпуск 11.** — М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2015. — 130 с.

ISBN 978-5-9687-0662-1.

Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ» разработано в целях содействия соблюдению требований федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», «Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта» и «Правила безопасности химически опасных производственных объектов».

В разработке Руководства принимали участие А.С. Печеркин, М.В. Лисанов, А.А. Агапов, Д.В. Дегтярев, А.С. Софьин (ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности»), С.И. Сумской (Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»), Г.М. Селезнев, И.С. Ясинский (Ростехнадзор).

Руководство содержит рекомендации к расчетам зон аварийного распространения опасных веществ в атмосфере при оценке риска аварий для обеспечения требований промышленной безопасности при проектировании, строительстве, капитальном ремонте, техническом перевооружении, реконструкции, эксплуатации, консервации и ликвидации опасных производственных объектов, на которых возможны случаи выброса опасных веществ в атмосферу.

ББК 30н

ISBN 978-5-9687-0662-1




© Оформление. Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 апреля 2015 г. № 158 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ» ..... 5
Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ» ..... 6
I. Общие положения ..... 6
II. Рекомендуемые методические основы, допущения и условия выброса опасных веществ ..... 7
III. Некоторые возможные сценарии выброса опасных веществ ..... 10
IV. Рекомендуемые исходные данные и порядок расчета характеристик выброса опасных веществ ..... 12
V. Рекомендации по расчету полей концентрации и токсодоз ..... 30
VI. Рекомендации по расчету границ зон, ограниченных концентрационными пределами распространения пламени ..... 40
Приложение № 1. Список обозначений и сокращений ..... 43
Приложение № 2. Термины и определения ..... 61
Приложение № 3. Схемы распространения первичного и вторичного облаков (с указанием характеристик облаков) ..... 64
Приложение № 4. Возможные конфигурации оборудования и схемы его разрушения ..... 66

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

Приложение № 5. Возможные стадии развития аварийной ситуации ..... 71
Приложение № 6. Перечень данных, необходимых для проведения расчета по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ ..... 79
Приложение № 7. Справочные данные по свойствам опасных веществ, связям вероятности поражения с пробит-функцией, характеристикам подстилающих поверхностей и состояния атмосферы ..... 81
Приложение № 8. Рекомендации по определению параметров смеси опасного вещества с воздухом в облаке ..... 92
Приложение № 9. Примеры расчетов последствий выбросов опасных веществ ..... 96
Приложение № 10. Блок-схема расчета последствий аварийного выброса опасных веществ ..... 116
Приложение № 11. Рекомендации по учету сложных многокомпонентных смесей ..... 117
Приложение № 12. Рекомендации по применению термодинамических расчетов ..... 120
Приложение № 13. Рекомендации по учету подмешивания воздуха на начальном этапе выброса ..... 122
Приложение № 14. Рекомендации по учету температурной зависимости свойств опасного вещества ..... 124
Приложение № 15. Рекомендации по учету изменения плотности при распространении выброса ..... 125

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ
И АТОМНОМУ НАДЗОРУ
(РОСТЕХНАДЗОР)**

**ПРИКАЗ**

20 апреля 2015 г. № 158

Москва

**Об утверждении Руководства по безопасности
«Методика моделирования распространения аварийных выбросов
опасных веществ»**

В целях реализации Положения о Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 30 июля 2004 г. № 401, п р и к а з ы в а ю:

1. Утвердить прилагаемое Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ».

2. Признать утратившим силу приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 декабря 2007 г. № 859 «Об утверждении и введении в действие «Методических указаний по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ» (РД-03-26–2007).

**Руководитель** **А.В. Алёшин**

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

*Приложение*

# РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ
## «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ»

## I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ» (далее — Руководство) разработано в целях содействия соблюдению требований Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», утвержденных приказом Ростехнадзора от 11 марта 2013 г. № 96 (зарегистрирован Минюстом России 16 апреля 2013 г., регистрационный № 28138), требований Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта», утвержденных приказом Ростехнадзора от 15 июля 2013 г. № 306 (зарегистрирован Минюстом России 20 августа 2013 г., регистрационный № 29581), требований Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности химически опасных производственных объектов», утвержденных приказом Ростехнадзора от 21 ноября 2013 г. № 559 (зарегистрирован Минюстом России 31 декабря 2013 г., регистрационный № 30995).

2. Настоящее Руководство содержит рекомендации к расчетам зон аварийного распространения опасных веществ в атмосфере при оценке риска аварий для обеспечения требований промышленной безопасности при проектировании, строительстве, капитальном ремонте, техническом перевооружении, реконструкции,

эксплуатации, консервации и ликвидации опасных производственных объектов, на которых возможны случаи выброса ОВ в атмосферу, и не является нормативным правовым актом.

3. Организации, выполняющие расчеты зон распространения ОВ в атмосфере при авариях, могут использовать иные обоснованные способы и методы, чем те, которые указаны в настоящем Руководстве.

4. В настоящем Руководстве используются обозначения и сокращения, а также термины и определения, приведенные в приложениях № 1 и № 2 к настоящему Руководству.

5. Руководство распространяется на опасные производственные объекты, на которых возможны случаи выброса газообразных или жидких ОВ в однофазном или двухфазном состоянии с плотностью большей, чем плотность воздуха при соответствующих условиях.

## II. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, ДОПУЩЕНИЯ И УСЛОВИЯ ВЫБРОСА ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ

6. Расчеты распространения ОВ в атмосфере, приведенные в настоящем Руководстве, основаны на модели рассеяния «тяжелого» газа. Основными особенностями образования «тяжелого» газа являются: соотношение плотности газообразного ОВ и плотности воздуха более 1, низкая температура, наличие аэрозолей.

7. Модель «тяжелого» газа учитывает следующие процессы:

а) движение облака с учетом изменения скорости ветра по высоте;

б) гравитационное растекание облака;

в) рассеяние облака в вертикальном направлении за счет атмосферной турбулентности (подмешивание воздуха в облако);

г) рассеяние облака в горизонтальном направлении за счет подмешивания воздуха в облако, происходящего как за счет атмосферной турбулентности, так и за счет гравитационного растекания;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

д) нагрев или охлаждение облака за счет подмешивания воздуха;

е) фазовые переходы ОВ в облаке («газ-жидкость» и «жидкость-газ»);

ж) теплообмен облака с подстилающей поверхностью.

8. В настоящем Руководстве приняты следующие допущения:

а) газообразное ОВ считается идеальным газом, свойства которого не зависят от температуры;

б) жидкое ОВ считается несжимаемой жидкостью, свойства которой не зависят от температуры;

в) гравитационное растекание облака ОВ учитывается с помощью эмпирической зависимости;

г) ОВ находится в аварийном оборудовании при давлении, равном или превышающем атмосферное;

д) истечение и испарение ОВ происходят с постоянной скоростью, соответствующей максимальной скорости истечения (испарения);

е) разлив жидкой фазы происходит на поверхности без впитывания;

ж) для случаев отсутствия обвалования толщина слоя разлившегося жидкого ОВ принимается равной 0,05 м[1];

з) осаждение (конденсация) на подстилающую поверхность выброса газообразного ОВ и его химические превращения при рассеянии не учитываются;

и) рассматриваются только случаи аварийного истекания ОВ из оборудования, когда отверстия разгерметизации или места расположения аварийных трубопроводов всем сечением находятся выше или ниже уровня налива жидкого ОВ в оборудовании, соответственно, рассматривается истечение только газовой либо только жидкой фазы.

[1] При наличии достаточных обоснований допускается задание слоя разлития с глубиной, отличной от 0,05 м, в частности в соответствии с нормами пожарной безопасности «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности», утвержденными приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий от 18.06.2003 г. № 314 (НПБ 105–03).

9. В настоящем Руководстве используются стандартные характеристики атмосферы и профили ветра, а также известные скорости подмешивания воздуха в выброс. Для описания устойчивости атмосферы используется 6 классов устойчивости — A, B, C, D, E и F (по Паскуилу). Первые три класса соответствуют неустойчивой стратификации атмосферы, последние два — устойчивой. Класс D — соответствует нейтральной стратификации атмосферы. Предполагается, что в течение времени распространения облака характеристики атмосферы не меняются.

10. В настоящем Руководстве рассматриваются следующие условия изменения состояния ОВ:

а) проливы жидкой фазы имеют, как правило, форму квадрата, вдоль одной из сторон которого направлен ветер; в случае если фактические поперечные размеры пролива существенно отличаются от продольных, допускается принимать поперечный размер пролива отличным от принятого в Руководстве;

б) выброс происходит на уровне земли или площадки (этажерки), где расположено технологическое оборудование, рассеяние выброса проходит от уровня поверхности земли;

в) в начальный момент времени (на месте выброса) первичное облако ОВ имеет форму цилиндра (рис. 3-1 приложения № 3 к настоящему Руководству), а вертикальное сечение вторичного облака ОВ вдоль направления ветра во всех сценариях представляет собой прямоугольник (рис. 3-2 приложения № 3 к настоящему Руководству);

г) капли в облаках и пролив жидкости на подстилающую поверхность не «захолаживаются», то есть их температура не снижается ниже температуры кипения ОВ;

д) распространение выброса происходит над твердой ровной поверхностью, с которой нет обмена массой, а есть только обмен теплом;

е) учет подмешивания воздуха в облака на начальном этапе выброса осуществляется в соответствии с приложением № 13 к настоящему Руководству. При отсутствии данных допускается при-

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

нимать, что в начальный момент времени в облаках (первичном и вторичных) опасное вещество воздухом не разбавлено;

ж) в облаке существует фазовое равновесие газ-жидкость, это равновесие устанавливается мгновенно;

з) фазовые переходы ОВ приводят только к изменению высоты облака;

и) при определении размеров зон, где возможно горение (или детонация) топливно-воздушной смеси, предполагается, что горение (или детонация) могут быть инициированы в областях со средней концентрацией от 0,5 нижнего концентрационного предела распространения пламени до верхнего концентрационного предела распространения пламени.

11. Руководство не рекомендуется применять либо рекомендуется применять с ограничениями в следующих случаях:

а) расчет рассеяния ОВ в штилевых условиях (отсутствие ветра);

б) расчет распространения выброса внутри помещений;

в) распространение выброса за пределами более 10 км от места выброса;

г) распространение выброса с массой ОВ в первичном облаке более 500 т;

д) распространение облаков от пролива ОВ со стороной квадрата пролива более 500 м;

е) наличие на пути движения облака препятствий, размеры которых превышают размеры облака;

ж) рассеяния твердых ОВ;

з) выпадения конденсированной фазы на подстилающую поверхность и ее повторного поступления в атмосферу.

## III. НЕКОТОРЫЕ ВОЗМОЖНЫЕ СЦЕНАРИИ ВЫБРОСА ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ

12. Руководство рекомендует проводить расчеты для следующих сценариев выброса ОВ в зависимости от характера разрушения оборудования и агрегатного состояния ОВ.

Сценарий 1. Полное разрушение оборудования, содержащего газообразное ОВ.

Сценарий 2. Нарушение герметичности (частичное разрушение) оборудования, содержащего газообразное ОВ.

Сценарий 3. Полное разрушение оборудования, содержащего жидкое ОВ.

Сценарий 4. Нарушение герметичности (частичное разрушение) оборудования, содержащего жидкое ОВ.

По сценариям 1 и 3 ОВ поступает в окружающую среду мгновенно; по сценариям 2 и 4 ОВ поступает в окружающую среду через отверстие площадью $S$ в течение продолжительного времени.

Сценарии 1 и 3 применимы только к емкостному оборудованию, сценарии 2 и 4 — как к емкостному оборудованию, так и к трубопроводам.

Возможные конфигурации оборудования и схемы его разрушения приведены в приложении № 4 к настоящему Руководству, возможные стадии развития аварийных ситуаций приведены в приложении № 5 к настоящему Руководству.

Приведенный перечень сценариев выброса не охватывает всего разнообразия возможных ситуаций, поэтому при выборе сценария для случаев, не перечисленных выше, рекомендуется руководствоваться соображениями физического подобия процессов.

При прогнозировании наибольших масштабов химического заражения и размеров зон, ограниченных концентрационными пределами распространения пламени ОВ, в качестве исходных данных рекомендуется принимать:

а) сценарий с полным разрушением емкости (технологической, складской, транспортной и др.), содержащей ОВ в максимальном количестве;

б) сценарий «гильотинного» разрыва трубопровода с максимальным расходом при максимальной длительности выброса;

в) метеорологические условия — класс устойчивости атмосферы — $F$, скорость ветра на высоте 10 м — 1 м/с.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

## IV. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ПОРЯДОК РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ВЫБРОСА ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ

13. Исходными данными для расчета характеристик выбросов ОВ являются свойства ОВ, технологические данные с учетом параметров оборудования, в котором обращается ОВ, сценарии выброса ОВ в атмосферу, характеристики территории вблизи аварийного объекта, метеоусловия на момент аварии. Полный Перечень данных, необходимых для проведения расчета по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ, а также полей концентрации и токсодоз, приведен в приложении № 6 к настоящему Руководству.

14. Основными величинами, расчет которых проводится в соответствии с настоящим Руководством, являются:

а) пространственно-временное распределение концентраций ОВ с учетом максимально достигаемой концентрации в данной точке на поверхности земли;

б) пространственные размеры зон достижения пороговой и смертельной токсодоз при ингаляционном воздействии на организм человека, размеры зон токсического поражения заданной вероятности по пробит-функциям, приведенным в табл. 7-1, 7-2 приложения № 7 к настоящему Руководству;

в) размеры зон, ограниченных концентрационными пределами распространения пламени;

г) количество ОВ в облаке, способное участвовать во взрывных превращениях (горении и детонации);

д) количество ОВ, поступающее в окружающую среду в газовой и жидкой фазах;

е) количество ОВ, распространяющееся в атмосфере и выпадающее на подстилающую поверхность (при наличии жидкой фазы);

ж) площадь пролива и скорость испарения ОВ из пролива (при наличии жидкой фазы);

з) при продолжительном выбросе определяется скорость и длительность поступления ОВ в окружающую среду, масса капельных

включений в облаках (первичном и вторичных), эффективные температура и плотность в облаках, геометрические характеристики облаков (эффективные высота и радиус(полуширина), скорости распространения облаков, времена подхода и поражающего действия облаков.

15. В общем случае для выбранного *i*-го сценария рекомендуется рассчитывать следующие характеристики выброса:

$$Q_i,\ Q^0_{\text{ж}i},\ q_i^{\text{ж}},\ q_i^{\text{г}},\ q_i^{\text{ги}},\ q_i^{\text{и}},\ q_i^{\text{е}},\ q^{0\text{ж}}_{\text{ж}i},\ q^{0\text{г}}_{\text{ж}i},\ q^{0\text{ги}}_{\text{ж}i},\ q^{0\text{и}}_{\text{ж}i},\ q^{0\text{е}}_{\text{ж}i},\ t_i^{\text{ж}},\ t_i^{\text{г}},\ t_i^{\text{ги}},\ t_i^{\text{и}},\ t_i^{\text{е}},$$
$$\rho_i^{\text{выб}},\ \rho_i^{\text{ж}},\ \rho_i^{\text{г}},\ \rho_i^{\text{ги}},\ \rho_i^{\text{и}},\ \rho_i^{\text{е}},\ R_i,\ B_i^{\text{ж}},\ B_i^{\text{г}},\ B_i^{\text{ги}},\ B_i^{\text{и}},\ B_i^{\text{е}},\ H_i,\ H_i^{\text{ж}},\ H_i^{\text{г}},\ H_i^{\text{ги}},\ H_i^{\text{и}},\ H_i^{\text{е}}.$$

Для сценария 4 при истечении из трубопровода, если количество ОВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет более 20 % общей массы выброса, дополнительно рекомендуется рассчитывать:

$$q_i^{\text{отс. выб}},\ q^{0\,\text{отс. выб}}_{\text{ж}i},\ \rho_i^{\text{отс. выб}},\ t_i^{\text{отс. выб}},\ B_i^{\text{отс. выб}},\ H_i^{\text{отс. выб}}.$$

16. Для сценария 1 характеристики выброса рекомендуется рассчитывать по следующим формулам:

$$Q_1 = Q, \tag{1}$$

если известна масса ОВ в оборудовании $Q$, или

$$Q_1 = \frac{\mu}{R}\frac{V_1 P_1}{T_1}, \tag{2}$$

если неизвестна масса ОВ в оборудовании $Q$, но известны объем оборудования $V_1$, давление в оборудовании $P_1$ и температура в оборудовании $T_1$:

$$Q^0_{\text{ж}1} = 0, \tag{3}$$

$$q_1^{\text{ж}} = q_1^{\text{г}} = q_1^{\text{ги}} = q_1^{\text{и}} = q_1^{\text{е}} = q_1^{\text{отс. выб}} = q^{0\text{ж}}_{\text{ж}1} = q^{0\text{г}}_{\text{ж}1} = q^{0\text{ги}}_{\text{ж}1} = q^{0\text{и}}_{\text{ж}1} = q^{0\text{е}}_{\text{ж}1} = q^{0\,\text{отс. выб}}_{\text{ж}1} = 0,\ ^{1} \tag{4}$$

[1] Данные и нижеследующие аналогичные обнуления не имеют физического смысла и необходимы для формализации подстановок в формулах; равенство на какой-либо стадии нулю начальных размеров облака, плотности и расхода (или количества опасного вещества) в нем, а также длительности поступления опасного вещества в атмосферу означает отсутствие данной стадии развития аварийной ситуации.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$$t_1^{ж} = t_1^{г} = t_1^{ги} = t_1^{и} = t_1^{е} = t_1^{отс.\ выб} = 0, \quad (5)$$

$$\rho_1^{выб} = \rho_1 \left(\frac{P_0}{P_1}\right)^{\frac{1}{\gamma}}, \quad (6)$$

где $\rho_1 = Q_1/V_1$ — плотность газообразного ОВ в оборудовании:

$$\rho_1^{ж} = \rho_1^{г} = \rho_1^{ги} = \rho_1^{и} = \rho_1^{е} = \rho_1^{отс.\ выб} = 0. \quad (7)$$

При отсутствии данных о начальных размерах первичного облака рекомендуется принимать его радиус равным его высоте:

$$R_1 = H_1 = \sqrt[3]{\frac{Q_1}{\pi\rho_1^{выб}}}, \quad (8)$$

$$B_1^{ж} = B_1^{г} = B_1^{ги} = B_1^{и} = B_1^{е} = B_1^{отс.\ выб} = 0, \quad (9)$$

$$H_1^{ж} = H_1^{г} = H_1^{ги} = H_1^{и} = H_1^{е} = H_1^{отс.\ выб} = 0. \quad (10)$$

17. Для сценария 2 характеристики выброса рекомендуется рассчитывать по следующим формулам:

$$Q_2 = Q_{ж2}^0 = 0 \quad (11)$$

докритическое истечение (при $\frac{P_0}{P_2} \geq \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$):

$$q_2^{ги} = 0{,}8S\sqrt{2\frac{\gamma}{\gamma-1}P_2\rho_2\left(\left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}\right)} \quad (12)$$

сверхкритическое истечение (при $\frac{P_0}{P_2} < \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$):

[1] При расчете по формуле (6), а также по формулам (18), (38)–(39) и (79)–(83) при наличии достоверных данных о начальной плотности выброса допускается задание иной величины с приведением соответствующих обоснований.

$$q_2^{\text{ги}} = 0{,}8S\sqrt{P_2\rho_2\gamma\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}. \qquad (13)$$

Если истечение происходит из трубопровода, на входе которого стоит компрессор, и $S$ превосходит величину $0{,}2S_{\text{тр}}$, то $q_2^{\text{ги}}$ полагается равным расходу компрессора $q^{\text{комп}}$:

$$q_2^{\text{ж}} = q_2^{\text{г}} = q_2^{\text{и}} = q_2^{\text{е}} = q_2^{\text{отс. выб}} = q_{\text{ж}2}^{0\,\text{ж}} = q_{\text{ж}2}^{0\,\text{г}} = q_{\text{ж}2}^{0\,\text{ги}} = q_{\text{ж}2}^{0\,\text{и}} = q_{\text{ж}2}^{0\,\text{е}} = q_{\text{ж}2}^{0\,\text{отс. выб}} = 0, \qquad (14)$$

$$t_2^{\text{ги}} = \min\left(\left(Q+Q_{\text{тр}}\right)\Big/q_2^{\text{ги}},\ t_{\text{отс}}+Q_{\text{тр}}\Big/q_2^{\text{ги}},\ t_{\text{ликвид}}\right), \qquad (15)$$

если известна масса ОВ в оборудовании $Q$, и

$$t_2^{\text{ги}} = \min\left(\frac{\mu}{R}\frac{V_2P_2}{T_2q_2^{\text{ги}}}+Q_{\text{тр}}\Big/q_2^{\text{ги}},\ t_{\text{отс}}+Q_{\text{тр}}\Big/q_2^{\text{ги}},\ t_{\text{ликвид}}\right), \qquad (16)$$

если неизвестна масса ОВ в оборудовании $Q$, но известны объем оборудования $V_2$, давление в оборудовании $P_2$ и температура в оборудовании $T_2$:

$$t_2^{\text{ж}} = t_2^{\text{и}} = t_2^{\text{г}} = t_2^{\text{е}} = t_2^{\text{отс. выб}} = 0, \qquad (17)$$

$$\rho_2^{\text{ги}} = \rho_2\left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}}, \qquad (18)$$

где $\rho_2 = \dfrac{\mu}{R}\dfrac{P_2}{T_2}$ — плотность газообразного ОВ в оборудовании:

$$\rho_2^{\text{выб}} = \rho_2^{\text{ж}} = \rho_2^{\text{и}} = \rho_2^{\text{г}} = \rho_2^{\text{е}} = \rho_2^{\text{отс. выб}} = 0. \qquad (19)$$

При отсутствии данных о начальных размерах вторичного облака рекомендуется для прямоугольного сечения этого облака принимать его полуширину равной его высоте[1]:

[1] В формуле (20), а также далее в формулах (30), (34), (43), (53), (57), (60), (64), (68), (71), (73), (74), (77), (80), (81), (85), (86), (88)–(93) и в соотношениях после формулы (56) используется величина $u'_{0\,\text{эфф}\,i}$, которая вычисляется согласно формуле (120).

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$$H_2^{\text{ги}} = B_2^{\text{ги}} = \sqrt{\frac{q_2^{\text{ги}}}{2\rho_2^{\text{ги}} u_{0\,\text{эфф}2}^{\text{ги}}}}, \tag{20}$$

$$R_2 = B_2^{\text{ж}} = B_2^{\text{и}} = B_2^{\text{е}} = B_2^{\text{отс. выб}} = 0, \tag{21}$$

$$H_2 = H_2^{\text{ж}} = H_2^{\text{и}} = H_2^{\text{е}} = H_2^{\text{отс. выб}} = 0. \tag{22}$$

18. Для сценария 3 характеристики выброса рекомендуется рассчитывать по следующим формулам:

$$Q_3 = Q_3^{\text{г}} + Q_3^{\text{ж}} + Q_3^{\text{и}} + Q^{\text{г}}, \tag{23}$$

$$Q^{\text{г}} = \alpha \frac{\mu}{R} \frac{V_3 P_3}{T_3}, \tag{24}$$

где $\alpha$ — объемная доля оборудования, заполненная газовой фазой (формула (24), применяется, если заранее неизвестна величина $Q_{\text{г}}$):

$$Q_3^{\text{г}} = Q^{\text{ж}} \left(1 - \exp\left(-\frac{C_p\left(T_3 - T_{\text{кип}} + \left|T_3 - T_{\text{кип}}\right|\right)}{2\Delta H_{\text{кип}}}\right)\right), \tag{25}$$

$$Q_3^{\text{ж}} = \min\left\{Q_3^{\text{г}},\ Q^{\text{ж}} - Q_3^{\text{г}}\right\}, \tag{26}$$

$$Q_{\text{ж}3}^0 = Q_3^{\text{ж}} \tag{27}$$

$$Q_3^{\text{и}} = \min\left\{\frac{T_{\text{п}} - T_{\text{кип}} + \left|T_{\text{п}} - T_{\text{кип}}\right|}{\Delta H_{\text{кип}}} \sqrt{\frac{\lambda_{\text{п}} c_{\text{п}} \rho_{\text{п}}}{\pi}} \frac{F_{\text{конт}}^2}{F} \sqrt{t_{\text{кип}}},\ Q^{\text{ж}} - Q_3^{\text{г}} - Q_3^{\text{ж}}\right\}, \tag{28}$$

$$F = \min\left\{\frac{Q^{\text{ж}} - Q_3^{\text{г}} - Q_3^{\text{ж}}}{0{,}05\,\rho_{\text{ж}}}, F_{\text{обв}}\right\}; \tag{29}$$

[1] При наличии достоверных исходных данных о геометрии и характеристиках поверхности, на которую происходит пролив, допускается задание иной площади пролива с приведением соответствующих обоснований.

где $F_{\text{конт}}$ — площадь контакта с твердой поверхностью, эта площадь включает как боковую поверхность обвалования, так и подстилающую поверхность; при проливе на неограниченную поверхность или внутри обвалования (без достижения проливом его границ) $F_{\text{конт}} = F$;

$$\sqrt{t_{\text{кип}}} = \min\left\{\frac{T_{\text{п}} - T_{\text{кип}} + |T_{\text{п}} - T_{\text{кип}}|}{2\Delta H_{\text{кип}}}\sqrt{\frac{\lambda_{\text{п}} c_{\text{п}} \rho_{\text{п}}}{\pi}} \times \right.$$

$$\left. \times \frac{1}{\sqrt{\mu}10^{-6}\left(5{,}38 + 4{,}1 u^{\text{и}}_{0\,\text{эфф3}}\right) p_{\text{н}}} \frac{F_{\text{конт}}}{F},\ \sqrt{\frac{2\sqrt{F}}{u^{\text{и}}_{0\,\text{эфф3}}}}\right\}, \tag{30}$$

$$p_{\text{н}} = 760 \exp\left(\Delta H_{\text{кип}} \mu \left(\frac{1}{T_{\text{кип}}} - \frac{1}{T_{\text{прив}}}\right) \Big/ R\right), \tag{31}$$

$$T_{\text{прив}} = \max\{T_{\text{возд}}, T_{\text{прол}}\}, \tag{32}$$

$$T_{\text{прол}} = \begin{cases} T_{\text{кип}}, & T_3 > T_{\text{кип}}, \\ T_3 \text{ в остальных случаях}, \end{cases} \tag{33}$$

$$q^{\text{и}}_3 = F\sqrt{\mu}10^{-6}\left(5{,}38 + 4{,}1 u^{\text{и}}_{0\,\text{эфф3}}\right) p_{\text{н}},^{1} \tag{34}$$

$$q^{\text{ж}}_3 = q^{\text{г}}_3 = q^{\text{ги}}_3 = q^{\text{е}}_3 = q^{\text{отс.выб}}_3 = q^{0\,\text{ж}}_{\text{ж}3} = q^{0\,\text{г}}_{\text{ж}3} = q^{0\,\text{ги}}_{\text{ж}3} = q^{0\,\text{и}}_{\text{ж}3} = q^{0\,\text{е}}_{\text{ж}3} = q^{0\,\text{отс.выб}}_{\text{ж}3} = 0, \tag{35}$$

$$t^{\text{и}}_3 = (Q - Q_3)/q^{\text{и}}_3, \tag{36}$$

$$t^{\text{ж}}_3 = t^{\text{г}}_3 = t^{\text{ги}}_3 = t^{\text{е}}_3 = t^{\text{отс. выб}}_3 = 0, \tag{37}$$

[1] При расчете интенсивности испарения из пролива по формулам (34), (57), (60), (64) и (66), а также при использовании интенсивности испарения в качестве вспомогательной величины в формулах (30), (53), (65), (67), (68), (71), равно как и в четырех ненумерованных формулах, после формулы (56) допускается при наличии достоверных данных задание иных интенсивностей испарения с приведением соответствующих обоснований.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$$\rho_3^{\text{выб}} = \begin{cases} \rho_{\text{кип}} \dfrac{Q_3}{Q_3^{\text{г}} + Q_3^{\text{и}} + Q^{\text{г}}}, & T_3 > T_{\text{кип}} \text{ или } T_{\text{п}} > T_{\text{кип}}, \\ \dfrac{\mu}{R} \dfrac{P_3}{T_3} \left( \dfrac{P_0}{P_3} \right)^{\frac{1}{\gamma}} & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \tag{38}$$

$$\rho_3^{\text{и}} = \begin{cases} \rho_{\text{кип}} = \rho(T_{\text{кип}}, P_0) = \dfrac{\mu}{R} \dfrac{P_0}{T_{\text{кип}}} & \text{при } T_3 > T_{\text{кип}} \text{ или } T_{\text{п}} > T_{\text{кип}}, \\ \dfrac{\mu}{R} \dfrac{P_0}{T_3} & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \tag{39}$$

$$\rho_3^{\text{ж}} = \rho_3^{\text{г}} = \rho_3^{\text{е}} = \rho_3^{\text{ги}} = \rho_3^{\text{отс. выб}} = 0. \tag{40}$$

При отсутствии данных о начальных размерах первичного и вторичного облаков рекомендуется для первичного облака принимать начальный радиус равным его высоте, а полуширину вторичного облака — полуширине пролива:

$$R_3 = H_3 = \sqrt[3]{\frac{Q_3}{\pi \rho_3^{\text{выб}}}}, \tag{41}$$

$$B_3^{\text{и}} = 0{,}5\sqrt{F}, \tag{42}$$

$$H_3^{\text{и}} = q_3^{\text{и}} / \left( 2u_{0\text{эфф}3}^{\text{и}} B_3^{\text{и}} \rho_3^{\text{и}} \right), \tag{43}$$

$$B_3^{\text{ж}} = B_3^{\text{отс. выб}} = B_3^{\text{г}} = B_3^{\text{ги}} = B_3^{\text{е}} = 0, \tag{44}$$

$$H_3^{\text{ж}} = H_3^{\text{отс. выб}} = H_3^{\text{г}} = H_3^{\text{ги}} = H_3^{\text{е}} = 0. \tag{45}$$

19. Для сценария 4 характеристики выброса рекомендуется рассчитывать по следующим формулам.

Если истечение происходит из трубопровода, на входе которого стоит емкость и величина $S$ превосходит $0{,}2S_{\text{тр}}$, либо истечение происходит непосредственно из емкости, то расход определяется по формуле:

$$q_{\text{выб}} = 0,6S\ \text{sign}\left(Q_H^{\text{ж}}\right)\sqrt{2Hg\rho_{\text{ж}}^2 + 2\rho_{\text{ж}}\left(P_4 - p_{\text{н}}(T_4)\right) + \frac{1}{K}\frac{\Delta H_{\text{кип}}^2\rho^2\left(T_4,\, p_{\text{н}}(T_4)\right)}{C_p T_{\text{кип}}}}, \quad (46)$$

где $p_{\text{н}}(T_4) = P_0 \exp\left(\Delta H_{\text{кип}}\mu\left(\frac{1}{T_{\text{кип}}} - \frac{1}{T_4}\right)\Big/R\right)$, (46-1)

$\rho\left(T_4,\, p_{\text{н}}(T_4)\right) = \frac{\mu}{R}\frac{p_{\text{н}}(T_4)}{T_4}$ — плотность газообразного ОВ при температуре $T_4$ и давлении $p_{\text{н}}(T_4)$; (46-2)

$K$ — функция, зависящая от $L$ — длины участка трубопровода от входа до места разгерметизации (в случае истечения непосредственно из емкости $L = 0$).

$$K = \begin{cases} \dfrac{\Delta H_{\text{кип}}^2\rho^2\left(T_4,\, p_{\text{н}}(T_4)\right)}{2\rho_{\text{ж}}\left(p_{\text{н}}(T_4) - P_0\right)C_p T_{\text{кип}}} + \dfrac{L}{30D_{\text{тр}}}, & 0 \le L \le 30D_{\text{тр}}, \\ 1{,}18, \quad 30D_{\text{тр}} < L \le 50D_{\text{тр}}, \\ 1{,}33, \quad 50D_{\text{тр}} < L \le 100D_{\text{тр}}, \\ 1{,}54, \quad 100D_{\text{тр}} < L \le 200D_{\text{тр}}, \\ 1{,}82, \quad 200D_{\text{тр}} < L \le 400D_{\text{тр}}, \\ 2{,}1, \quad 400D_{\text{тр}} < L. \end{cases} \quad (47)$$

Если истечение происходит из трубопровода, на входе которого стоит насос, а величина $S$ превосходит $0,2S_{\text{тр}}$, то $q_{\text{выб}}$ полагается равным расходу насоса $q^{\text{насос}}$.

В остальных случаях расход определяется по формуле

$$q_{\text{выб}} = \text{sign}\left(Q_H^{\text{ж}}\right)0,6S\rho_{\text{ж}}\sqrt{2Hg + 2\frac{P_4 - P_0}{\rho_{\text{ж}}}}. \quad (48)$$

В случае если истечение происходит через трубопровод и количество ОВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет более 20 % общей массы выброса, то рекомендуется рассмотреть истечение после блокировки аварийного участка. Скорость выброса на этой стадии будет составлять

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$$q_{\text{выб}}^{\text{отс}} = \begin{cases} 0,6S\rho_{\text{ж}}\operatorname{sign}\left(Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}}\right)\sqrt{2H_{\text{тр}}^{\text{отс}}g}, & T_4 < T_{\text{кип}}, \\ 0,6S\rho_{\text{ж}}\operatorname{sign}\left(Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}}\right)\sqrt{2H_{\text{тр}}^{\text{отс}}g + 2\dfrac{p_{\text{н}}(T_4) - P_0}{\rho_{\text{ж}}}}, & T_4 \geq T_{\text{кип}}. \end{cases} \quad (49)$$

Если истечение из трубопровода после отсечения аварийного участка не рассматривается, то $q_{\text{выб}}^{\text{отс}} = 0$.

$$Q_4 = \min\left\{Q_H^{\text{ж}} + Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}},\quad \left(q_4' + q_4''\right)t' + \left(q_{4\text{ отс}}' + q_{4\text{ отс}}''\right)t_{\text{отс}}' + \right.$$

$$\left. + \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{кип}} + \left|T_{\text{п}} - T_{\text{кип}}\right|}{\Delta H_{\text{кип}}}\sqrt{\frac{\lambda_{\text{п}}c_{\text{п}}\rho_{\text{п}}}{\pi}}\frac{F_{\text{конт}}^2}{F'}\sqrt{t_{\text{кип}}}\right\}, \quad (50)$$

$$Q_{\text{ж}4}^0 = q_4''t' + q_{4\text{ отс}}''t_{\text{отс}}', \quad (51)$$

$$Q_{\text{г}4}^0 = \min\left\{Q_H^{\text{ж}} + Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}} - Q_{\text{ж}4}^0,\quad q't' + q_{4\text{ отс}}'t_{\text{отс}}' + \right.$$

$$\left. + \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{кип}} + \left|T_{\text{п}} - T_{\text{кип}}\right|}{\Delta H_{\text{кип}}}\sqrt{\frac{\lambda_{\text{п}}c_{\text{п}}\rho_{\text{п}}}{\pi}}\frac{F_{\text{конт}}^2}{F'}\sqrt{t_{\text{кип}}}\right\}, \quad (52)$$

$$\sqrt{t_{\text{кип}}} = \min\left\{\frac{T_{\text{п}} - T_{\text{кип}} + \left|T_{\text{п}} - T_{\text{кип}}\right|}{2\Delta H_{\text{кип}}}\sqrt{\frac{\lambda_{\text{п}}c_{\text{п}}\rho_{\text{п}}}{\pi}} \times \right.$$

$$\left. \times\frac{1}{\sqrt{\mu}\cdot 10^{-6}\left(5,38 + 4,1u_{0\text{эфф}4}^0\right)p_{\text{н}}},\ \sqrt{\frac{2\sqrt{F'}}{u_{0\text{эфф}4}^0}}\right\}, \quad (53)$$

$$F' = \frac{1}{0,05\rho_{\text{ж}}}\left[\left(q_{\text{выб}} - q_4' - q_4''\right)\min\left\{t',\ \frac{Q_H^{\text{ж}} + Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}}\right\} + \right.$$

$$\left. + \left(q_{\text{выб}}^{\text{отс}} - q_{4\text{отс}}' - q_{4\text{отс}}''\right)\min\left\{t_{\text{отс}}',\ \frac{Q_{H^{\text{отс.тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}^{\text{отс}}}\right\}\right], \quad (54)$$

$$t' = \min\left\{t_{\text{кип}},\ t_{\text{отс}},\ t_{\text{ликвид}},\ t'_{\text{исп}}, \frac{Q_H^{\text{ж}} + Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}}\right\}, \quad (55)$$

$$t'_{\text{отс}} = \min\left\{t_{\text{кип}} - t',\ t_{\text{ликвид}} - t',\ t'_{\text{исп}} - t',\ t''_{\text{исп}} - t', \frac{Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}^{\text{отс}}}\right\}, \quad (56)$$

где $F_{\text{конт}}$ — площадь контакта с твердой поверхностью, эта площадь включает как боковую поверхность обвалования, так и подстилающую поверхность; при проливе на неограниченную поверхность или внутри обвалования (без достижения проливом его границ) $F_{\text{конт}} = F'$;

$$t'_{\text{исп}} = \frac{\left(q_{\text{выб}} - q'_4 - q''_4\right)\dfrac{Q_H^{\text{ж}} + Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}}}{F\sqrt{\mu}10^{-6}\left(5{,}38 + 4{,}1u_{0\text{эфф}4}^{0}\right)p_{\text{н}}}$$ при проливе в обвалование

и

$$t'_{\text{исп}} = \frac{0{,}05\rho_{\text{ж}}}{\sqrt{\mu}10^{-6}\left(5{,}38 + 4{,}1u_{0\text{эфф}4}^{0}\right)p_{\text{н}}}$$ при проливе на неограниченную поверхность;

$$t''_{\text{исп}} = \frac{\left(q_{\text{выб}} - q'_4 - q''_4\right)t_{\text{отс}} + \left(q_{\text{выб}}^{\text{отс}} - q'_{4\text{отс}} - q''_{4\text{отс}}\right)\dfrac{Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}^{\text{отс}}}}{F\sqrt{\mu}10^{-6}\left(5{,}38 + 4{,}1u_{0\text{эфф}4}^{0}\right)p_{\text{н}}}$$ при проливе в обвалование

и

$$t''_{\text{исп}} = \frac{0{,}05\rho_{\text{ж}}}{\sqrt{\mu}10^{-6}\left(5{,}38 + 4{,}1u_{0\text{эфф}4}^{0}\right)p_{\text{н}}}$$ при проливе на неограниченную поверхность;

где $p_{\text{н}} = 760\exp\left(\Delta H_{\text{кип}}\mu\left(\dfrac{1}{T_{\text{кип}}} - \dfrac{1}{T_{\text{прив}}}\right)\Big/R\right)$ — давление насыщенных паров ОВ при приведенной температуре $T_{\text{прив}}$, которая принимается равной максимуму из температуры воздуха $T_{\text{возд}}$ и температуры жидкой фазы в проливе в начальный момент времени $T_{\text{прол}}$: $T_{\text{прив}} = \max(T_{\text{возд}}, T_{\text{прол}})$. Величина $T_{\text{прол}}$ принимается аналогично

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

формуле (33): $T_{\text{прол}} = T_{\text{кип}}$, при $T_4 > T_{\text{кип}}$ и $T_{\text{прол}} = T_4$ в противных случаях;

$$q_4^{\text{ж}} = \min\left\{q_{\text{выб}},\ q_4' + q_4'' + F\sqrt{\mu}10^{-6}\left(5{,}38 + 4{,}1u_{0\ \text{эфф}4}^{\text{ж}}\right)p_{\text{н}}\right\}, \quad (57)$$

$$q_4' = q_{\text{выб}}\left(1 - \exp\left(-\frac{C_p\left(T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|\right)}{2\Delta H_{\text{кип}}}\right)\right), \quad (58)$$

$$q_4'' = q_{\text{ж}4}^{0\,\text{ж}} = \min\left\{q_4',\ q_{\text{выб}} - q_4'\right\}, \quad (59)$$

$$q_4^{\text{отс. выб}} = \min\left\{q_{\text{выб}}^{\text{отс}},\ q_{4\text{отс}}' + q_{4\text{отс}}'' + F\sqrt{\mu}10^{-6}\left(5{,}38 + 4{,}1u_{0\text{эфф}4}^{\text{отс.выб}}\right)p_{\text{н}}\right\}, \quad (60)$$

$$q_{4\text{отс}}' = q_{\text{выб}}^{\text{отс}}\left(1 - \exp\left(-\frac{C_p\left(T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|\right)}{2\Delta H_{\text{кип}}}\right)\right), \quad (61)$$

$$q_{4\text{отс}}'' = q_{\text{ж}4}^{0\,\text{отс. выб}} = \min\left\{q_{4\text{отс}}',\ q_{\text{выб}}^{\text{отс}} - q_{4\text{отс}}'\right\}, \quad (62)$$

$$q_{\text{ж}4}^{0\,\text{г}} = q_{\text{ж}4}^{0\,\text{ги}} = q_{\text{ж}4}^{0\,\text{и}} = q_{\text{ж}4}^{0\,\text{е}} = 0{,}0, \quad (63)$$

$$q_4^{\text{г}} = \begin{cases} F\sqrt{\mu}10^{-6}\left(5{,}38+4{,}1u_{0\text{эфф}4}^{\text{г}}\right)p_{\text{н}}+0{,}8S\times \\ \times\min\left\{\sqrt{2\dfrac{\gamma}{\gamma-1}P_4\rho_4\left(\left(\dfrac{P_0}{P_4}\right)^{\frac{2}{\gamma}}-\left(\dfrac{P_0}{P_4}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}\right)},\ \sqrt{P_4\rho_4\gamma\left(\dfrac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}\right\}, \\ \text{либо } t'+t'_{\text{отс}}+t_4^{\text{ж}}+t_4^{\text{отс.выб}}\le t_{\text{отс}},\ \text{либо } t'+t'_{\text{отс}}+t_4^{\text{ж}}+t_4^{\text{отс.выб}}>t_{\text{отс}} \\ \text{и } Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}>Q_{H^{\text{отс.тр}}}^{\text{ж}} \\ F\sqrt{\mu}10^{-6}\left(5{,}38+4{,}1u_{0\text{эфф}4}^{\text{г}}\right)p_{\text{н}}+0{,}8S\times \\ \times\min\left\{\sqrt{2\dfrac{\gamma}{\gamma-1}p_{\text{н}}(T_4)\rho_{\text{н}}\left(p_{\text{н}}(T_4),\ T_{\text{кип}}\right)\left(\left(\dfrac{P_0}{p_{\text{н}}(T_4)}\right)^{\frac{2}{\gamma}}-\left(\dfrac{P_0}{p_{\text{н}}(T_4)}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}\right)},\right. \\ \left.\sqrt{p_{\text{н}}(T_4)\rho_{\text{н}}\left(p_{\text{н}}(T_4),\ T_{\text{кип}}\right)\gamma\left(\dfrac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}\right\}, \\ t'+t'_{\text{отс}}+t_4^{\text{ж}}+t_4^{\text{отс.выб}}>t_{\text{отс}},\ Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}=Q_{H^{\text{отс.тр}}}^{\text{ж}},\ T_4>T_{\text{кип}} \\ 0,\ t'+t'_{\text{отс}}+t_4^{\text{ж}}+t_4^{\text{отс.выб}}>t_{\text{отс}},\ Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}=Q_{H^{\text{отс.тр}}}^{\text{ж}},\ T_4\le T_{\text{кип}}, \end{cases} \quad (64)$$

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$$q_4^{\text{ги}} = \begin{cases} S_{\max}\sqrt{\mu}10^{-6}\cdot 5{,}38 p_{\text{н}} + 0{,}8S\times \\ \times\min\left\{\sqrt{2\dfrac{\gamma}{\gamma-1}P_4\rho_4\left(\left(\dfrac{P_0}{P_4}\right)^{\frac{2}{\gamma}}-\left(\dfrac{P_0}{P_4}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}\right)},\ \sqrt{P_4\rho_4\gamma\left(\dfrac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}\right\}, \\ \text{либо } t'+t'_{\text{отс}}+t_4^{\text{ж}}+t_4^{\text{отс. выб}} \le t_{\text{отс}} \text{ , либо } t'+t'_{\text{отс}}+t_4^{\text{ж}}+t_4^{\text{отс. выб}} > t_{\text{отс}} \\ \text{и } Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}} > Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}} \\ S_{\max}\sqrt{\mu}10^{-6}\cdot 5{,}38 p_{\text{н}} + 0{,}8S\times \\ \times\min\left\{\sqrt{2\dfrac{\gamma}{\gamma-1}p_{\text{н}}(T_4)\rho_{\text{н}}\left(p_{\text{н}}(T_4),\ T_{\text{кип}}\right)\left(\left(\dfrac{P_0}{p_{\text{н}}(T_4)}\right)^{\frac{2}{\gamma}}-\left(\dfrac{P_0}{p_{\text{н}}(T_4)}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}\right)},\right. \\ \left.\sqrt{p_{\text{н}}(T_4)\rho_{\text{н}}\left(p_{\text{н}}(T_4),\ T_{\text{кип}}\right)\gamma\left(\dfrac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}\right\}, \\ t'+t'_{\text{отс}}+t_4^{\text{ж}}+t_4^{\text{отс. выб}} > t_{\text{отс}},\ Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}} = Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}} \text{ и } T_4 > T_{\text{кип}} \\ 0,\ t'+t'_{\text{отс}}+t_4^{\text{ж}}+t_4^{\text{отс. выб}} > t_{\text{отс}},\ Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}} = Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}} \text{ и } T_4 \le T_{\text{кип}} \end{cases} \quad (65)$$

$$q_4^{\text{и}} = F\sqrt{\mu}10^{-6}\left(5{,}38+4{,}1u_{0\,\text{эфф}4}^{\text{и}}\right)p_{\text{н}} + 5{,}38S_{\max}\sqrt{\mu}10^{-6}p_{\text{н}}, \quad (66)$$

$$q_4^{\text{е}} = 5{,}38S_{\max}\sqrt{\mu}10^{-6}p_{\text{н}}, \quad (67)$$

где $S_{\max}$ — эффективная площадь эмиссии из разгерметизированного оборудования (определяется с учетом максимальной площади свободной поверхности в оборудовании $S_{\text{обор}}$) находится из соотношения:

$$S_{\max} = \min\left\{S_{\text{обор}},\ \rho_4^{\text{е}}u_{0\,\text{эфф}4}^{\text{е}}S\Big/\left(\sqrt{\mu}\cdot 5{,}38\cdot 10^{-6}p_{\text{н}}\right)\right\}, \quad (68)$$

$$t_4^{ж} = \min\left\{\frac{Q_H^{ж} + Q_{H^{тр}}^{ж}}{q_{выб}} - t',\ t_{отс} - t'\right\}, \tag{69}$$

$$t_4^{отс.выб} = \min\left\{t_{ликвид} - t'_{отс} - t_4^{ж} - t',\ \frac{Q_{H^{отс.тр}}^{ж}}{q_{выб}^{отс}} - t'_{отс}\right\}, \tag{70}$$

$$t_{исп} = \frac{q_{выб}\left(t_4^{ж} + \min\left\{t',\ \dfrac{Q_H^{ж} + Q_{H^{тр}}^{ж}}{q_{выб}}\right\}\right)}{F\sqrt{\mu}10^{-6}\left(5{,}38 + 4{,}1u_{0эфф4}^{г}\right)p_н} +$$

$$+ \frac{q_{выб}^{отс}\left(t_4^{отс.\,выб} + \min\left\{t'_{отс},\ \dfrac{Q_{H^{отс.\,тр}}^{ж}}{q_{выб}^{отс}}\right\}\right) - Q_4 - q_4^{ж}t_4^{ж} - q_4^{отс.\,выб}t_4^{отс.\,выб}}{F\sqrt{\mu}10^{-6}\left(5{,}38 + 4{,}1u_{0эфф4}^{г}\right)p_н}, \tag{71}$$

Если пролив происходит в обвалование, то площадь пролива $F$ совпадет с площадью обвалования, в противном случае площадь пролива определяется по следующей формуле:

$$F = \min\left\{\begin{array}{l} \dfrac{q_{выб}\left(t_4^{ж} + \min\left\{t',\ \dfrac{Q_H^{ж} + Q_{H^{тр}}^{ж}}{q_{выб}}\right\}\right) + q_{выб}^{отс}\left(t_4^{отс.выб} + \min\left\{t'_{отс},\ \dfrac{Q_{H^{отс.тг}}^{ж}}{q_{выб}^{отс}}\right\}\right)}{0{,}05\,\rho_{ж}} - \\ \dfrac{Q_4 - \min\left\{q_{выб}, q'_4 + q''_4\right\}t_4^{ж} - \min\left\{q_{выб}^{отс}, q'_{4отс} + q''_{4отс}\right\}t_4^{отс.выб}}{0{,}05\,\rho_{ж}}, \\ F_{обв}, \\ \max\left\{\dfrac{q_{выб} - q'_4 - q''_4}{\sqrt{\mu}10^{-6}\left(5{,}38 + 4{,}1u_{0\ эфф_4}^{ж}\right)p_н}, \dfrac{q_{выб}^{отс} - q'_{4отс} - q''_{4отс}}{\sqrt{\mu}10^{-6}\left(5{,}38 + 4{,}1u_{0эфф4}^{отс.выб}\right)p_н}\right\} \end{array}\right\}, \tag{72}$$

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$$t_4^{\text{г}} = \min \begin{cases} t_{\max}^{\text{г}} \ \text{ при } \ t_{\text{отс}} - t_4^{\text{ж}} - t_4^{\text{отс. выб}} - t'_{\text{отс}} - t' > t_{\max}^{\text{г}} \\ \dfrac{\left( Q_{\text{отс}}^{\text{г}} + \min\left\{ Q_{\text{тр}^{\text{отс}}}^{\text{ж}},\ \left( Q_{\text{тр}}^{\text{ж}} - Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}} \right) \right\} \left( 1 - \exp\left( - \dfrac{C_p \left( T_4 - T_{\text{кип}} + \left| T_4 - T_{\text{кип}} \right| \right)}{2\Delta H_{\text{кип}}} \right) \right) \right)}{q_4^{\text{г}} - F\sqrt{\mu} \cdot 10^{-6} \left( 5{,}38 + 4{,}1 u_{0\text{эфф}4}^{\text{г}} \right) p_{\text{н}}} + \\ + t_{\text{отс}} - t_4^{\text{ж}} - t_4^{\text{отс. выб}} - t'_{\text{отс}} - t', \\ \text{при } \ t_{\text{отс}} - t_4^{\text{ж}} - t_4^{\text{отс. выб}} - t'_{\text{отс}} - t' \le t_{\max}^{\text{г}} \\ t_{\text{отс}} > t_4^{\text{ж}} + t_4^{\text{отс. выб}} + t'_{\text{отс}} + t' \\ \dfrac{\left( Q_{\text{отс}}^{\text{г}} + \left( Q_{\text{тр}}^{\text{ж}} - Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}} \right) \left( 1 - \exp\left( - \dfrac{C_p \left( T_4 - T_{\text{кип}} + \left| T_4 - T_{\text{кип}} \right| \right)}{2\Delta H_{\text{кип}}} \right) \right) \right)}{q_4^{\text{г}} - F\sqrt{\mu} \cdot 10^{-6} \left( 5{,}38 + 4{,}1 u_{0\text{эфф}4}^{\text{г}} \right) p_{\text{н}}}, \\ t_{\text{отс}} \le t_4^{\text{ж}} + t_4^{\text{отс. выб}} + t'_{\text{отс}} + t' \\ \min \operatorname{sum}\left( t_{\text{ликвид}},\ t',\ t'_{\text{отс}},\ t_4^{\text{отс. выб}},\ t_4^{\text{ж}} \right), \\ t_{\text{исп}} \end{cases} \tag{73}$$

$$t_{\max}^{\text{г}} = \frac{\left( Q^{\text{г}} + \left( Q^{\text{ж}} + Q_{\text{тр}}^{\text{ж}} - Q_H^{\text{ж}} - Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}} \right) \left( 1 - \exp\left( - \dfrac{C_p \left( T_4 - T_{\text{кип}} + \left| T_4 - T_{\text{кип}} \right| \right)}{2\Delta H_{\text{кип}}} \right) \right) \right)}{q_4^{\text{г}} - F\sqrt{\mu} \cdot 10^{-6} \left( 5{,}38 + 4{,}1 u_{0\text{эфф}4}^{\text{г}} \right) p_{\text{н}}}, \tag{74}$$

$$t_4^{\text{ги}} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} t_{\max}^{\text{ги}} \quad \text{при} \quad t_{\text{отс}} - t_4^{\text{ж}} - t_4^{\text{отс. выб}} - t'_{\text{отс}} - t' - t_4^{\text{г}} > t_{\max}^{\text{ги}} \\ \dfrac{\left( Q_{\text{отс}}^{\text{г}} + \min\left\{ Q_{\text{тр}^{\text{отс}}}^{\text{ж}},\ \left( Q_{\text{тр}}^{\text{ж}} - Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}} \right) \right\} \left( 1 - \exp\left( - \dfrac{C_p \left( T_4 - T_{\text{кип}} + \left| T_4 - T_{\text{кип}} \right| \right)}{2\Delta H_{\text{кип}}} \right) \right) \right)}{q_4^{\text{ги}}} + \\ + t_{\text{отс}} - t_4^{\text{ж}} - t_4^{\text{отс. выб}} - t'_{\text{отс}} - t' - t_4^{\text{г}}, \\ \text{при} \quad t_{\text{отс}} - t_4^{\text{ж}} - t_4^{\text{отс. выб}} - t'_{\text{отс}} - t' - t_4^{\text{г}} \le t_{\max}^{\text{ги}} \end{array} \right. \\ t_{\text{отс}} > t_4^{\text{ж}} + t_4^{\text{отс. выб}} + t'_{\text{отс}} + t' + t_4^{\text{г}} \\ \dfrac{\left( Q_{\text{отс}}^{\text{г}} + \left( Q_{\text{тр}}^{\text{ж}} - Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}} \right) \left( 1 - \exp\left( - \dfrac{C_p \left( T_4 - T_{\text{кип}} + \left| T_4 - T_{\text{кип}} \right| \right)}{2\Delta H_{\text{кип}}} \right) \right) \right)}{q_4^{\text{ги}}} - t_4^{\text{г}}, \\ t_{\text{отс}} \le t_4^{\text{ж}} + t_4^{\text{отс. выб}} + t'_{\text{отс}} + t' + t_4^{\text{г}} \\ \min \operatorname{sum}\left( t_{\text{ликвид}},\ t',\ t'_{\text{отс}},\ t_4^{\text{отс. выб}},\ t_4^{\text{ж}},\ t_4^{\text{г}} \right) \end{array} \right\} \tag{75}$$

$$t_{\max}^{\text{ги}} = t_{\max}^{\text{г}} - t_4^{\text{г}}, \tag{76}$$

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$$t_4^{\text{и}} = \frac{q_{\text{выб}}\left(t_4^{\text{ж}} + \min\left\{t',\ \dfrac{Q_H^{\text{ж}} + Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}}\right\}\right)}{F\sqrt{\mu}10^{-6}\left(5{,}38+4{,}1u_{0\,\text{эфф}4}^{\text{и}}\right)p_{\text{н}}} +$$

$$+\frac{q_{\text{выб}}^{\text{отс}}\left(t_4^{\text{отс. выб}} + \min\left\{t'_{\text{отс}},\ \dfrac{Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}^{\text{отс}}}\right\}\right) - Q_4 - q_4^{\text{ж}}t_4^{\text{ж}} - q_4^{\text{отс. выб}}t_4^{\text{отс. выб}} - q_4^{\text{г}}t_4^{\text{г}}}{F\sqrt{\mu}10^{-6}\left(5{,}38+4{,}1u_{0\,\text{эфф}4}^{\text{и}}\right)p_{\text{н}}}, \quad (77)$$

$$t_4^{\text{е}} = \min\left\{\begin{array}{l}\left[\dfrac{\left(Q_{\text{тр}}^{\text{ж}} - Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}} + Q^{\text{ж}} - Q_H^{\text{ж}}\right)}{q_4^{\text{е}}} \times\right. \\ \left.\times\left(1-\exp\left(-\dfrac{C_p\left(T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|\right)}{2\Delta H_{\text{кип}}}\right)\right)\right] - t_4^{\text{г}} - t_4^{\text{ги}} - t_4^{\text{и}}, \\ \min\operatorname{sum}\left(t_{\text{ликвид}},\ t',\ t'_{\text{отс}},\ t_4^{\text{отс.выб}},\ t_4^{\text{ж}},\ t_4^{\text{г}},\ t_4^{\text{ги}},\ t_4^{\text{и}}\right)\end{array}\right\}, \quad (78)$$

$$\rho_4^{\text{выб}} = \begin{cases}\rho_{\text{кип}}\dfrac{Q_4}{Q_4 - q_4''t''}, & T_4 > T_{\text{кип}} \text{ или } T_{\text{п}} > T_{\text{кип}}, \\ 0 \text{ в остальных случаях,}\end{cases} \quad (79)$$

$$\rho_4^{\text{ж}} = \begin{cases}\rho_{\text{кип}}\dfrac{q_4^{\text{ж}}}{\min(q_{\text{выб}} - q_4'', q_4' + F\sqrt{\mu}10^{-6}\left(5{,}38+4{,}1u_{0\text{эфф}4}^{\text{ж}}\right)p_{\text{н}}} \\ \text{при } T_4 > T_{\text{кип}} \text{ или } T_{\text{п}} > T_{\text{кип}} \\ \dfrac{\mu}{R}\dfrac{P_0}{T_4} \text{ в остальных случаях.}\end{cases} \quad (80)$$

$$\rho_4^{\text{отс. выб}} = \begin{cases} \rho_{\text{кип}} \dfrac{q_4^{\text{отс. выб}}}{\min(q_{\text{выб}}^{\text{отс}} - q_{4\text{отс}}'', q_{4\text{отс}}' + F\sqrt{\mu}10^{-6}\left(5{,}38 + 4{,}1u_{0\text{эфф}4}^{\text{отс. выб}}\right)p_{\text{н}})} \\ \text{при } T_4 > T_{\text{кип}} \text{ или } \ T_{\text{п}} > T_{\text{кип}}, \\ \dfrac{\mu}{R}\dfrac{P_0}{T_4} \text{ в остальных случаях.} \end{cases} \quad (81)$$

$$\rho_4^{\text{г}} = \rho_4^{\text{ги}} = \rho_4 \left(\frac{P_0}{P_4}\right)^{\frac{1}{\gamma}}, \quad (82)$$

где $\rho_4 = \dfrac{\mu}{R}\dfrac{P_4}{T_4}$.

$$\rho_4^{\text{и}} = \rho_4^{\text{е}} = \begin{cases} \rho_{\text{кип}} \ \text{при } T_4 > T_{\text{кип}} \text{ или } \ T_{\text{п}} > T_{\text{кип}}, \\ \dfrac{\mu}{R}\dfrac{P_0}{T_4} \text{ в остальных случаях.} \end{cases} \quad (83)$$

При отсутствии данных о начальных размерах первичного облака рекомендуется принимать его радиус равным его высоте:

$$R_4 = H_4 = \sqrt[3]{\frac{Q_4}{\pi\rho_4^{\text{выб}}}}. \quad (84)$$

При отсутствии данных о начальных размерах вторичных облаков, формирующихся при наличии пролива, рекомендуется для облаков принимать полуширину вторичного облака равной полуширине пролива, либо в отсутствие пролива:

$$B_4^{\text{ж}} = \begin{cases} 0{,}5\sqrt{F}, \text{ если } q_{\text{выб}} > q_4' + q_4'', \\ \sqrt{\dfrac{q_4^{\text{ж}}}{2\rho_4^{\text{ж}} u_{0\text{эфф}4}^{\text{ж}}}}, \text{ если } q_{\text{выб}} = q_4' + q_4'', \end{cases} \quad (85)$$

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$$B_4^{\text{отс выб}} = \begin{cases} 0{,}5\sqrt{F}, \text{ если } q_{\text{выб}}^{\text{отс}} > q'_{4\text{отс}} + q''_{4\text{отс}}, \\ \sqrt{\dfrac{q_4^{\text{отс выб}}}{2\rho_4^{\text{отс выб}} u_{0\text{эфф}\,4}^{\text{отс выб}}}}, \text{ если } q_{\text{выб}}^{\text{отс}} = q'_{4\text{отс}} + q''_{4\text{отс}}, \end{cases} \quad (86)$$

$$B_4^{\text{г}} = B_4^{\text{и}} = 0{,}5\sqrt{F}, \quad (87)$$

$$H_4^{\text{ж}} = q_4^{\text{ж}} / \left(2u_{0\text{эфф}4}^{\text{ж}} B_4^{\text{ж}} \rho_4^{\text{ж}}\right), \quad (88)$$

$$H_4^{\text{отс выб}} = q_4^{\text{отс выб}} / \left(2u_{0\text{эфф}\,4}^{\text{отс выб}} B_4^{\text{отс выб}} \rho_4^{\text{отс выб}}\right), \quad (89)$$

$$H_4^{\text{г}} = q_4^{\text{г}} / \left(2u_{0\text{эфф}4}^{\text{г}} B_4^{\text{г}} \rho_4^{\text{г}}\right), \quad (90)$$

$$H_4^{\text{и}} = q_4^{\text{и}} / \left(2u_{0\text{эфф}4}^{\text{и}} B_4^{\text{и}} \rho_4^{\text{и}}\right). \quad (91)$$

При отсутствии данных о начальных размерах вторичных облаков, формирующихся в отсутствие пролива, рекомендуется для прямоугольного сечения вторичного облака принимать его полуширину равной его высоте.

$$H_4^{\text{ги}} = B_4^{\text{ги}} = \sqrt{\frac{q_4^{\text{ги}}}{2\rho_4^{\text{ги}} u_{0\text{эфф}4}^{\text{ги}}}}, \quad (92)$$

$$H_4^{\text{е}} = B_4^{\text{е}} = \sqrt{\frac{q_4^{\text{е}}}{2\rho_4^{\text{е}} u_{0\text{эфф}4}^{\text{е}}}}. \quad (93)$$

## V. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ И ТОКСОДОЗ

20. Для условий, в которых происходит выброс ОВ, определяются характерный размер шероховатости поверхности $z_{\text{пов}}$, класс устойчивости атмосферы, характеристика профиля ветра $\alpha_{\text{в}}$, масштаб Монина—Обухова $L_{\text{МО}}$, динамическая скорость $u_*$, скорость подмешивания воздуха $u_{\text{подм}}^{\text{верх}}$ и коэффициент дисперсии в поперечном направлении $\sigma_y$.

21. Если характерный размер шероховатости не может быть задан исходя из реальных метеорологических условий с приведением соответствующих обоснований, то он задается согласно данным, приведенным в табл. 7-3 приложения № 7 к настоящему Руководству.

Если в результате расчета окажется, что вертикальный размер облака с требуемыми характеристиками меньше, чем характерный размер шероховатости, то это означает, что результаты расчетов по данному Руководству можно рассматривать лишь в качестве оценочных.

22. Если класс устойчивости не может быть задан исходя из реальных метеорологических условий с приведением соответствующих обоснований, то класс устойчивости задается с использованием данных, приведенных в табл. 7-4 приложения № 7 к настоящему Руководству в зависимости от скорости ветра и интенсивности теплового потока у поверхности (инсоляция и облачность).

Для расчета наихудшего варианта принимается класс устойчивости $F$ и скорость ветра 1 м/с.

23. Для характерного размера шероховатости $z_{пов}$, класса устойчивости и скорости ветра $u_{10}$ на высоте $z_{10}$ определяется коэффициент $\alpha_в$ в соответствии с данными, приведенными в табл. 7-5[1] приложения № 7 к настоящему Руководству.

При проведении расчетов первоначально рекомендуется выбирать $\alpha_в$ для высоты до 20 м (первое значение см. в табл. 7—5 приложения № 7 к настоящему Руководству).

Если в результате расчета окажется, что вертикальный размер облака с требуемыми характеристиками больше 20 м, то рекомендуется провести новый расчет с измененным $\alpha_в$ для высоты до или свыше 50 м в зависимости от рассчитанного вертикального размера облака.

24. Для характерного размера шероховатости $z_{пов}$ и выбранного класса устойчивости определяется масштаб Монина—Обухова $L_{МО}$. $L_{МО} = \infty$ для нейтральной устойчивости атмосферы (класс D).

[1] При наличии достоверных исходных данных о характере изменения скорости ветра с высотой допускается задание иной величины $\alpha_в$ с приведением соответствующих обоснований.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

Для остальных условий устойчивости атмосферы масштаб Монина—Обухова определяется по формуле (94) с использованием данных, приведенных в табл. 7-6 приложения № 7 к настоящему Руководству:

$$L_{\text{МО}} = k_L z^p_{\text{пов}}. \tag{94}$$

25. Динамическая скорость определяется по формуле

$$u_* = \frac{k \cdot u_{10}}{\left(\ln\left((z_{10} + z_{\text{пов}})/z_{\text{пов}}\right) - \varphi\right)}, \tag{95}$$

где $\varphi$ — задается исходя из класса устойчивости атмосферы согласно формуле (96):

$$\varphi = \begin{cases} 2 \cdot \ln\left((1+a)/2\right) + \ln\left((1+a^2)/2\right) - 2 \cdot \operatorname{arctg}(a) + \dfrac{\pi}{2}; \\ \text{для классов устойчивости A, B, C} \\ 0; \text{ для класса устойчивости D} \\ -6{,}9 \cdot z_{10} / L_{\text{МО}}; \text{ для классов устойчивости E, F,} \end{cases} \tag{96}$$

где $a = (1 - 22 z_{10}/L_{\text{МО}})^{1/4}$.

26. Скорость подмешивания воздуха в облако через верхнюю границу определяется в зависимости от характеристик облака (эффективной плотности $\rho_{\text{эфф}}$, эффективной высоты $H_{\text{эфф}}$, эффективной температуры $T_{\text{эфф}}$ и эффективной теплоемкости облака $C_{\text{эфф}}$)[1] по следующей формуле:

$$u^{\text{верх}}_{\text{подм}} = \frac{k \cdot u_t}{\Phi\left(Ri_*\right)}, \tag{97}$$

[1] В следующих далее формулах используются переменные $\rho_{\text{эфф}}$, $H_{\text{эфф}}$, $T_{\text{эфф}}$, $E_{\text{пов}}$ и $C_{\text{эфф}}$, для первичного облака эти переменные равны $\rho_{\text{эфф}\,i}$, $H_{\text{эфф}\,i}$, $T_{\text{эфф}\,i}$, $E_{\text{пов}\,i}$ и $C_{\text{эфф}\,i}$, а для вторичных облаков — $\rho^{\prime}_{\text{эфф}\,i}$, $H^{\prime}_{\text{эфф}\,i}$, $T^{\prime}_{\text{эфф}\,i}$, $E^{\prime}_{\text{эфф}\,i}$ и $C^{\prime}_{\text{эфф}\,i}$.

$$\Phi(Ri_*) = \begin{cases} \dfrac{(1+0{,}8\cdot Ri_*)^{1/2}}{(1+\alpha_в)}, & Ri_* > 0, \\ \dfrac{(1-0{,}6\cdot Ri_*)^{-1/2}}{(1+\alpha_в)}, & Ri_* \le 0, \end{cases} \tag{98}$$

$$Ri_* = g\cdot\frac{(\rho_{эфф}-\rho_{возд})}{\rho_{возд}}\cdot\frac{H_{эфф}}{u_t^2}, \tag{99}$$

где $u_t = \sqrt{u_*^2 + (b\cdot w_*)^2}$, $b = 0{,}2$, $w_* = \left[\dfrac{g\cdot|E_{пов}|\cdot H_{эфф}}{\rho_{эфф}\cdot T_{эфф}\cdot C_{эфф}}\right]^{1/3}$, $E_{пов}$ — удельный тепловой поток (от поверхности земли в облако), описываемый ниже формулами (114)–(117) или (132)–(135).

27. Коэффициент дисперсии в поперечном направлении $\sigma_y$ определяется по следующей формуле с помощью данных, приведенных в табл. 7-7 приложения № 7 к настоящему Руководству:

$$\sigma_y(x) = \delta x(1 + \gamma_y x)^{-1/2}, \tag{100}$$

где $\gamma_y = 0{,}0001$ м$^{-1}$, $\delta = \delta_{600}(t_{av}/600)$.

28. Для каждой из стадий выброса по сценарию $i$-му определяются поля концентрации ОВ и максимальная концентрация ОВ на оси $x$.

Для первичного облака концентрация ОВ и размеры облаков при их рассеянии вычисляются по формулам (101)–(117).

29. Состояние первичного облака в каждый момент времени характеризуется следующими параметрами:

$$c_{цi},\ S_{zi},\ S_{yi},\ r_i,\ E_{эффi},\ x_{цi},\ Q_{жi},\ \rho_{эффi},\ (\text{или } V_{эффi}) \text{ и } T_{эффi}.$$

Они дополняются еще четырьмя, которые рассчитываются на основе введенных выше переменных[1]: $R_{эффi}$, $H_{эффi}$, $u_{эффi}$, $Q_{сумi}$.

[1] В случае если величина $H_{эффi}$ меньше 0,5 м, то в формуле (103) для расчета $u_{эффi}$ используется величина $S_{zi}$, полученная по формуле (102) в предположении, что $H_{эффi} = 0{,}5$ м.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$$R_{эффi} = \sqrt{r_i^2 + S_{y_i}^2}, \tag{101}$$

$$H_{эффi} = \frac{1}{\beta} \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\beta}\right) \cdot S_{zi}, \tag{102}$$

$$u_{эффi} = \frac{\Gamma\left[(1+\alpha_в)/\beta\right]}{\Gamma\left[1/\beta\right]} \cdot u_{10} \cdot \left(\frac{S_{zi}}{z_{10}}\right)^{\alpha_в}, \tag{103}$$

$$Q_{суммi} = \pi R_{эффi}^2 H_{эффi} / V_{эффi}. \tag{104}$$

Схема первичного облака изображена на рис. 3-1 приложения № 3 к настоящему Руководству.

30. Распределение концентрации ОВ в облаке рекомендуется описывать зависимостями:

$$c_i^0(x,y,z,t) = c_{цi} \cdot \exp\left[-\left[\frac{z}{S_{zi}}\right]^{\beta}\right] \text{ при } (x - x_{цi})^2 + y^2 < r_i^2, \tag{105}$$

$$c_i^0(x,y,z,t) = c_{цi} \cdot \exp\left[-\left[\frac{z}{S_{zi}}\right]^{\beta}\right] \cdot \exp\left[-\frac{\left(x - x_{цi}\right)^2 + y^2 - r_i^2}{\left[S_{yi}^2\right]}\right]$$

$$\text{при } (x - x_{цi})^2 + y^2 \geq r_i^2. \tag{106}$$

31. Для определения пространственного распределения концентрации, профиль которой задан в пункте 30 настоящего Руководства, с помощью перечисленных параметров в пункте 29 настоящего Руководства используются следующие уравнения.

Сохранение массы выброшенного вещества $Q_i$:

$$Q_i = c_{цi}\, \pi\, R_{эффi}^2\, H_{эффi}. \tag{107}$$

Изменение массы облака $Q_{сумi}$:

$$\frac{d}{dt}\left[Q_{сумi}\right] = \pi \cdot R_{эффi}^2 \cdot \rho_{возд} \cdot u_{подм}^{верх} + 2 \cdot \pi \cdot R_{эффi} \cdot H_{эффi} \cdot \rho_{возд} \cdot \gamma_{подм} \cdot \frac{d}{dt}\left[R_{эффi}\right]. \tag{108}$$

Гравитационное растекание облака:

$$\frac{d}{dt}\left[R_{\text{эффi}}\right]=u_{\text{эффi}}\frac{d}{dx}\left[R_{\text{эффi}}\right]=C_e\sqrt{g\cdot H_{\text{эффi}}\cdot\left[1-\frac{\rho_{\text{возд}}}{\rho_{\text{эффi}}}\right]}. \quad (109)$$

Боковое рассеяние выброса за счет атмосферной диффузии:

$$\frac{d}{dt}\left[S_{yi}\right]=\frac{u_{\text{эффi}}}{S_{yi}}\cdot 2\cdot(2/\pi)^{1/2}\cdot\left(r_i+1/2\cdot\pi^{1/2}\cdot S_{yi}\right)\cdot\frac{d}{dx}\left[\sigma_y\right] \text{ при } r_i>0 \quad (110)$$

или

$$S_{yi}(x)=2^{1/2}\cdot\sigma_y(x+x_i) \text{ при } r_i=0. \quad (111)$$

Сохранение энергии в облаке $E_{\text{эффi}}$:

$$\frac{d}{dt}\left[E_{\text{эффi}}\right]=\pi R_{\text{эффi}}^2\rho_{\text{возд}}u_{\text{подм}}^{\text{верх}}e_{\text{возд}}+2\pi R_{\text{эффi}}H_{\text{эффi}}\rho_{\text{возд}}\gamma_{\text{подм}}\frac{d}{dt}\left[R_{\text{эффi}}\right]e_{\text{возд}}+\pi R_{\text{эффi}}^2E_{\text{повi}}. \quad (112)$$

Способ расчета удельного теплового потока от подстилающей поверхности в облако $E_{\text{повi}}$ приведен ниже в пункте 32 настоящего Руководства.

Положение центра облака $x_{\text{цi}}$:

$$\frac{d}{dt}\left[x_{\text{цi}}\right]=u_{\text{эффi}}. \quad (113)$$

Величины $\rho_{\text{эффi}}$ ($V_{\text{эффi}}$) и $T_{\text{эффi}}$, а также величина $Q_{\text{жi}}$ вычисляются согласно подходу, изложенному в приложении № 8 к настоящему Руководству.

32. Определение удельного теплового потока (от поверхности земли в облако):

$$E_{\text{повi}}=\begin{cases}\max\left[E_{\text{пов. естi}},E_{\text{пов. выпi}}\right], & T_{\text{пов. рас}}>T_{\text{эффi}},\\ E_{\text{пов. выпi}}, & T_{\text{пов. рас}}\le T_{\text{эффi}},\end{cases} \quad (114)$$

$$E_{\text{пов. выпi}}=1{,}22\cdot\left(\frac{u_*^2}{u_{10}}\right)^2\cdot\rho_{\text{эффi}}\cdot C_{\text{эффi}}\cdot\left(T_{\text{пов. рас}}-T_{\text{эффi}}\right), \quad (115)$$

$$C_{\text{эффi}}=\frac{\left((Q_i-Q_{\text{жi}})\cdot C_{\text{pгаз}}+Q_{\text{жi}}\cdot C_p+\left(Q_{\text{сумi}}-Q_i\right)\cdot C_{\text{pвозд}}\right)}{Q_{\text{сумi}}}, \quad (116)$$

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$$E_{\text{пов. есті}} = 3{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{\left(T_{\text{пов. рас}} - T_{\text{эффі}}\right)^2}{0{,}5 \cdot \left(T_{\text{пов. рас}} + T_{\text{эффі}}\right)} \right)^{2/3} \cdot \frac{P_0}{R} \cdot (g)^{1/3}. \qquad (117)$$

Для длительных выбросов концентрация ОВ и размеры облаков при их рассеянии вычисляются по формулам (118)–(135).

33. Дрейф вторичного облака рассматривается для следующих шести стадий распространения выброса ОВ (см. приложение № 5 к настоящему Руководству):

истечение жидкой фазы (в стабильном или перегретом состоянии) до отсечения аварийного участка;

истечение жидкой фазы (в стабильном или перегретом состоянии) из аварийного участка после его отсечения (для сценария 4);

истечение газа при наличии пролива жидкой фазы и испарение с пролива;

истечение газа из разрушенного оборудования при отсутствии пролива жидкой фазы;

испарение с пролива при отсутствии истечения жидкости или газа из разрушенного оборудования;

испарение из емкости при отсутствии пролива.

Для каждой из этих стадий рассчитывается свое вторичное облако. При расчете каждой из этих стадий задаются свой расход ОВ в шлейфе $q_i^l$ и расход жидкой фазы в начальном сечении $q_{\text{ж}i}^{0l}$:

$$q_i^{\text{ж}},\ q_i^{\text{отс. выб}},\ q_i^{\text{г}},\ q_i^{\text{гн}},\ q_i^{\text{и}},\ q_i^{\text{е}},\ q_{\text{ж}i}^{0\text{ж}},\ q_{\text{ж}i}^{\text{отс. выб}},\ q_{\text{ж}i}^{0\text{г}},\ q_{\text{ж}i}^{0\text{гн}},\ q_{\text{ж}i}^{0\text{и}},\ q_{\text{ж}i}^{0\text{е}},$$

свой начальный размер облака (полуширина $B_i^l$ и высота $H_i^l$):

$$B_i^{\text{ж}},\ B_i^{\text{отс. выб.}},\ B_i^{\text{г}},\ B_i^{\text{гн}},\ B_i^{\text{и}},\ B_i^{\text{е}} \text{ и } H_i^{\text{ж}},\ H_i^{\text{отс. выб.}},\ H_i^{\text{г}},\ H_i^{\text{гн}},\ H_i^{\text{и}},\ H_i^{\text{е}}.$$

Ранее эти величины для разных сценариев были рассчитаны по формулам (4), (8)–(10), (12), (14), (20)–(22), (34)–(35), (41)–(45), (57), (60), (64)–(67).

Состояние вторичного облака в каждом поперечном сечении характеризуется следующими параметрами:

$$c_{\text{щ}i}^l,\ S_{zi}^l,\ S_{yi}^l,\ b_i^l,\ E_{\text{эффі}}^l,\ x_{\text{п}i}^l,\ x_{\text{з}i}^l,\ q_{\text{ж}i}^l.$$

Кроме того, облако характеризуется такими параметрами, как $\rho^l_{эффi}$ ($V^l_{эффi}$) и $T^l_{эффi}$. Они дополняются еще четырьмя — $B^l_{эффi}$, $H^l_{эффi}$, $u^l_{эффi}$, $q^l_{сумi}$, которые рассчитываются на основе введенных выше переменных по формулам (118)–(121)[1]:

$$B^l_{эффi} = b^l_i + 0{,}5 \cdot \sqrt{\pi} \cdot S^l_{yi}, \tag{118}$$

$$H^l_{эффi} = \frac{1}{\beta} \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\beta}\right) \cdot S^l_{zi}, \tag{119}$$

$$u^l_{эффi} = \frac{\Gamma\left[(1+\alpha_в)/\beta\right]}{\Gamma\left[1/\beta\right]} \cdot u_{10} \cdot \left(\frac{S^l_{zi}}{z_{10}}\right)^{\alpha_в}, \tag{120}$$

$$q^l_{сумi} = 2 \cdot B^l_{эффi} \cdot H^l_{эффi} \cdot u^l_{эффi} / V^l_{эффi}. \tag{121}$$

Схема распространения вторичного облака изображена на рис. 3-2 приложения № 3 к настоящему Руководству.

34. Распределение концентрации ОВ во вторичном облаке описывается зависимостями:

$$c^l_i(x,y,z) = c^l_{цi} \cdot \exp\left[-\left[\frac{z}{S^l_{zi}}\right]^{\beta}\right] \text{ при } |y| < b^l_i \text{ и } x^l_{зi} < x < x^l_{пi}, \tag{122}$$

$$c^l_i(x,y,z) = c^l_{цi} \cdot \exp\left[-\left[\frac{z}{S^l_{zi}}\right]^{\beta}\right] \cdot \exp\left[-\left[\frac{|y|-b^l_i}{S^l_{yi}}\right]^2\right]$$
$$\text{при } |y| \le b^l_i \text{ и } x^l_{зi} < x < x^l_{пi}. \tag{123}$$

При $x^l_{пi} < x$ или $x < x^l_{зi}$ $c^l_i(x,y,z) = 0$.

35. Для определения пространственного распределения концентрации, профиль которой задан в пункте 34 настоящего Руководства, с помощью перечисленных параметров в пункте 33 настоящего Руководства используются следующие уравнения:

сохранение массы выброшенного вещества $q^l_i$:

[1] В случае если величина $H^l_{эффi}$ меньше 0,5 м, то в формуле (120) для расчета $u^l_{эффi}$ используется величина $S^l_{zi}$, полученная по формуле (119) в предположении, что $H^l_{эффi} = 0{,}5$.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$$q_i^l = 2 \cdot c_{\text{ц}i}^l \cdot B_{\text{эффi}}^l \cdot H_{\text{эффi}}^l \cdot u_{\text{эффi}}^l; \quad (124)$$

изменение расхода в шлейфе $q_{\text{сумi}}^l$:

$$\frac{d}{dx}\left[q_{\text{сумi}}^l\right] = 2 \cdot B_{\text{эффi}}^l \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot u_{\text{подм}}^{\text{верх}} + 2 \cdot H_{\text{эффi}}^l \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot \gamma_{\text{подм}} \cdot \frac{d}{dt}\left[B_{\text{эффi}}^l\right]; \quad (125)$$

гравитационное растекание облака:

$$\frac{d}{dx}\left[B_{\text{эффi}}^l\right] = \frac{C_e}{u_{\text{эффi}}^l}\sqrt{g \cdot H_{\text{эффi}}^l \cdot \left[1 - \frac{\rho_{\text{возд}}}{\rho_{\text{эффi}}^l}\right]}; \quad (126)$$

боковое рассеяние выброса за счет атмосферной диффузии:

$$\frac{d}{dx}\left[S_{yi}^l\right] = \frac{1}{S_{yi}^l} \cdot 2 \cdot (2/\pi)^{1/2} \cdot \left(b_i^l + 1/2 \cdot \pi^{1/2} \cdot S_{yi}^l\right) \cdot \frac{d}{dx}\left[\sigma_y\right] \text{ при } b_i^l > 0, \quad (127)$$

$$S_{yi}^l(x) = 2^{1/2}\sigma_y(x + x_i) \text{ при } b_i^l = 0; \quad (128)$$

сохранение энергии в облаке $E_{\text{эффi}}^l$:

$$\frac{d}{dx}\left[E_{\text{эффi}}^l\right] = 2B_{\text{эффi}}^l \rho_{\text{возд}} u_{\text{подм}}^{\text{верх}} e_{\text{возд}} + 2H_{\text{эффi}}^l \rho_{\text{возд}} \gamma_{\text{подм}} \frac{d}{dt}\left[B_{\text{эффi}}^l\right] e_{\text{возд}} + 2B_{\text{эффi}}^l E_{\text{повi}}^l. \quad (129)$$

Способ расчета удельного теплового потока $E_{\text{повi}}^l$ приведен в пункте 36 настоящего Руководства.

Положение переднего края облака $x_{\text{пi}}^l$ определяют по формулам:

$$\begin{cases} x_{\text{пi}}^l = 0 \ \text{ при } t < \sum_{j=1}^{l-1} t_i^j, \\ \frac{d}{dt}\left[x_{\text{пi}}^l\right] = u_{\text{эффi}}^l, \ \text{для } x_{\text{пi}}^l\left(\sum_{j=1}^{l-1} t_i^j\right) = 0 \ \text{ при } t \geq \sum_{j=1}^{l-1} t_i^j. \end{cases} \quad (130)$$

После окончания $l$-й стадии выброса определяется положение заднего края $x_{\text{зi}}^l$:

$$x_{\text{зi}}^l = \begin{cases} 0 \ \text{ при } t < \sum_{j=1}^{l-1} t_i^j, \\ x_{\text{пi}}^l\left(t - \sum_{j=1}^{l} t_i^j\right) \ \text{ при } t \geq \sum_{j=1}^{l} t_i^j. \end{cases} \quad (131)$$

Величины $\rho^{l}_{эффi}(V^{l}_{эффi})$ и $T^{l}_{эффi}$, а также величина $q^{l}_{жi}$ вычисляются согласно рекомендациям, изложенным в приложении № 8 к настоящему Руководству.

36. Определение удельного теплового потока проводится по следующим формулам:

$$E^{l}_{повi} = \begin{cases} \max\left[E^{l}_{пов.\,естi}, E^{l}_{пов.\,выпi}\right], & T_{пов.\,рас} > T^{l}_{эффi}, \\ E^{l}_{пов.\,выпi}, & T_{пов.\,рас} \le T^{l}_{эффi}, \end{cases} \quad (132)$$

$$E^{l}_{пов.\,выпi} = 1{,}22 \cdot \left(\frac{u_*^2}{u_{10}}\right)^2 \cdot \rho^{l}_{эффi} \cdot C^{l}_{эффi} \cdot \left(T_{пов.\,рас} - T^{l}_{эффi}\right), \quad (133)$$

$$C^{l}_{эффi} = \frac{\left(\left(q^{l}_{i} - q^{l}_{жi}\right) \cdot C_{ргаз} + q^{l}_{жi} \cdot C_{р} + \left(q^{l}_{сумi} - q^{l}_{i}\right) \cdot C_{рвозд}\right)}{q^{l}_{сумi}}, \quad (134)$$

$$E^{l}_{пов.естi} = 3{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{\left(T_{пов.\,рас} - T^{l}_{эффi}\right)^2}{0{,}5 \cdot \left(T_{пов.\,рас} + T^{l}_{эффi}\right)}\right)^{2/3} \cdot \frac{P_0}{R} \cdot (g)^{1/3}. \quad (135)$$

37. Концентрация ОВ в точке в момент времени $t$ при $i$-м сценарии рекомендуется определять по формуле:

$$c_i(x,y,z,t) = c_i^{0}(x,y,z,t) + c_i^{ж}(x,y,z,t) + c_i^{отс.\,выб}(x,y,z,t) + \\ + c_i^{г}(x,y,z,t) + c_i^{ги}(x,y,z,t) + c_i^{и}(x,y,z,t) + c_i^{с}(x,y,z,t). \quad (136)$$

38. Определяется максимально возможная концентрация ОВ на расстоянии $x$ от места аварии при $i$-м сценарии и время $t_{max\,i}(x,y,z)$, когда достигается эта концентрация. По $t_{max\,i}(x,y,z)$ определяется стадия (или сочетания стадий распространения выброса ОВ), на которой (которых) достигаются максимальные концентрации ОВ:

$$c_i^{max}(x,y,z) = \max\left(c_i(x,y,z,t)\right). \quad (137)$$

39. Путем интегрирования по времени концентрации $c_i(x,y,z,t)$ определяется поле токсодозы $D_i(x,y,z)$, а также распределение

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

максимальной токсодозы, достигаемой на заданном расстоянии от места выброса $D_{i\max}(x)$. Максимальная токсодоза для заданного расстояния за все время экспозиции достигается на оси $y = 0$, $z = 0$. При необходимости определяются составляющие токсодозы, соответствующие облакам (первичному и вторичным), образовавшимся на различных стадиях аварии $D_i^0(x,y,z)$ и $D_i^l(x,y,z)$ и максимальные токсодозы, достигаемые на заданном расстоянии от облаков, образовавшихся на разных стадиях аварии, $D_{i\max}^0(x,y,z)$ и $D_{i\max}^l(x,y,z)$.

40. Сравнением с пороговыми и смертельными токсодозами (см. табл. 7-1 приложения № 7 к настоящему Руководству) определяются расстояния, соответствующие смертельному поражению и пороговому воздействию. Для оценки вероятности смертельного поражения человека рекомендуется использовать пробит-функцию Pr, по которой с использованием табл. № 7-1, 7-2 приложения № 7 к настоящему Руководству определяется вероятность смертельного поражения человека на открытом пространстве.

Величина Pr определяется по следующей формуле:

$$\Pr = a_{\Pr} + b_{\Pr} \ln\left(\int_0^{t_{\text{экспл}}} \left(c_i(x,y,z,t)\right)^{n_{\Pr}} dt\right), \qquad (138)$$

где коэффициенты $a$, $b$, $n$ берутся из данных табл. 7-1.

## VI. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ГРАНИЦ ЗОН, ОГРАНИЧЕННЫХ КОНЦЕНТРАЦИОННЫМИ ПРЕДЕЛАМИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ

41. Для взрывопожароопасных выбросов в момент времени $t_0$ определяются поверхности, ограничивающие в пространстве области ВКПР ($\Sigma_{\text{ВКПР}}$) и 0,5НКПР ($\Sigma_{0,5\text{НКПР}}$).

Граница области ВКПР $\Sigma_{\text{ВКПР}}$ определяется уравнением:

$$c_{\text{ВКПР}} = c_i^0(x,y,z,t_0) + c_i^{\text{ж}}(x,y,z,t_0) + c_i^{\text{отс. выб}}(x,y,z,t_0) + \\ + c_i^{\text{г}}(x,y,z,t_0) + c_i^{\text{ги}}(x,y,z,t_0) + c_i^{\text{и}}(x,y,z,t_0) + c_i^{\text{е}}(x,y,z,t_0). \quad (139)$$

Граница зоны 0,5 НКПР $\Sigma_{0,5\text{НКПР}}$ определяется уравнением:

$$0,5c_{\text{НКПР}} = c_i^0(x,y,z,t_0) + c_i^{\text{ж}}(x,y,z,t_0) + c_i^{\text{отс. выб}}(x,y,z,t_0) + \\ + c_i^{\text{г}}(x,y,z,t_0) + c_i^{\text{ги}}(x,y,z,t_0) + c_i^{\text{и}}(x,y,z,t_0) + c_i^{\text{е}}(x,y,z,t_0). \quad (140)$$

Область в пространстве, где возможно воспламенение и горение (детонация) пожаровзрывоопасного вещества, определяется как огибающая поверхностей $\Sigma_{0,5\text{НКПР}}$ за все моменты времени $t_0$ существования в пространстве концентраций выше 0,5НКПР.

42. Для взрывопожароопасных выбросов определяются размеры зон, на которые может дрейфовать выброс, сохраняя способность к воспламенению. Полагается, что этот размер соответствует достижению средних концентраций 0,5НКПР.

Граница зоны достижения 0,5НКПР на уровне $z = z_0$ в момент времени $t_0$ определяется соотношением:

$$0,5c_{\text{НКПР}} = c_i(x,y,z_0,t_0) + c_i^{\text{ж}}(x,y,z_0,t_0) + c_i^{\text{отс. выб}}(x,y,z_0,t_0) + \\ + c_i^{\text{г}}(x,y,z_0,t_0) + c_i^{\text{ги}}(x,y,z_0,t_0) + c_i^{\text{и}}(x,y,z_0,t_0) + c_i^{\text{е}}(x,y,z_0,t_0). \quad (141)$$

Граница зоны достижения 0,5НКПР в вертикальной плоскости, перпендикулярной ветру ($x = x_0$), в момент времени $t_0$ определяется соотношением:

$$0,5c_{\text{НКПР}} = c_i(x_0,y,z,t_0) + c_i^{\text{ж}}(x_0,y,z,t_0) + c_i^{\text{отс. выб}}(x_0,y,z,t_0) + \\ + c_i^{\text{г}}(x_0,y,z,t_0) + c_i^{\text{ги}}(x_0,y,z,t_0) + c_i^{\text{и}}(x_0,y,z,t_0) + c_i^{\text{е}}(x_0,y,z,t_0). \quad (142)$$

Граница зоны достижения 0,5НКПР в вертикальной плоскости, параллельной ветру ($y = y_0$), в момент времени $t_0$ определяется соотношением:

$$0,5c_{\text{НКПР}} = c_i(x,y_0,z,t_0) + c_i^{\text{ж}}(x,y_0,z,t_0) + c_i^{\text{отс. выб}}(x,y_0,z,t_0) + \\ + c_i^{\text{г}}(x,y_0,z,t_0) + c_i^{\text{ги}}(x,y_0,z,t_0) + c_i^{\text{и}}(x,y_0,z,t_0) + c_i^{\text{е}}(x,y_0,z,t_0). \quad (143)$$

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

Линия, ограничивающая в соответствующей плоскости ($z = z_0$, $y = y_0$ или $x = x_0$) область, где возможно воспламенение и горение пожаровзрывоопасного вещества, определяется как огибающая профилей линий (141)–(143), за все моменты времени $t_0$ существования в пространстве концентраций выше 0,5НКПР.

43. Для взрывопожароопасных выбросов в момент времени $t$ определяется масса топлива, находящаяся во взрывоопасных пределах и способная участвовать в процессах горения или детонации. Эта масса определяется путем интегрирования концентрации по пространству, ограниченному поверхностями, образованными границей, на которой концентрация облака достигает НКПР и ВКПР:

$$Q_{\text{вз}} = \iiint\limits_{V_{\text{взр}}} c(x, y, z, t_0)\, dxdydz, \qquad (144)$$

где $V_{\text{взр}} = \{(x, y, z) | c_{\text{НКПР}} \le c(x, y, z, t_0) \le c_{\text{ВКПР}}\}$.

Если в результате расчета по формуле (144) в первичном облаке во взрывоопасных пределах окажется масса больше 10 % всей массы топлива, находящейся в первичном облаке, то масса топлива во взрывоопасных пределах первичного облака принимается равной 10 % всей массы топлива, находящейся в первичном облаке.

***Приложение № 1***
*к Руководству*

## Список обозначений и сокращений

В настоящем Руководстве применены следующие обозначения и сокращения:

НКПР — нижний концентрационный предел распространения пламени;

ВКПР — верхний концентрационный предел распространения пламени;

ОВ — опасное вещество;

$B_i^l$ — полуширина начального сечения вторичного облака, образующегося на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $B_i^l = B_i^{ж}$, $B_i^{отс.\ выб}$, $B_i^{г}$, $B_i^{ги}$, $B_i^{и}$, $B_i^{e}$), м;

$B_{эффi}^l$ — эффективная полуширина вторичного облака, образующегося на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $B_{эффi}^l = B_{эффi}^{ж}$, $B_{эффi}^{отс.\ выб}$, $B_{эффi}^{г}$, $B_{эффi}^{ги}$, $B_{эффi}^{и}$, $B_{эффi}^{e}$), м;

$C_e$ — коэффициент, использующийся при расчете скорости гравитационного растекания, равен 1,15;

$C_p$ — теплоемкость жидкого опасного вещества, Дж/кг/К;

$C_{p\ возд}$ — теплоемкость воздуха при постоянном давлении, Дж/кг/К;

$C_{p\ газ}$ — теплоемкость газообразного опасного вещества, Дж/кг/К;

$C_v$ — теплоемкость газообразного опасного вещества, Дж/кг/К;

$C_{v\ возд}$ — теплоемкость воздуха при постоянном объеме, Дж/кг/К;

$C_{эффi}$ — эффективная теплоемкость вещества в первичном облаке в $i$-м сценарии, Дж/кг/К;

$C_{эффi}^l$ — эффективная теплоемкость вещества во вторичном облаке, образующемся на $l$-й стадии поступления опасного вещества

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $C^{l}_{\text{эффi}} = C^{\text{ж}}_{pi}$, $C^{\text{отс. выб}}_{pi}$, $C^{\text{г}}_{pi}$, $C^{\text{ги}}_{pi}$, $C^{\text{и}}_{pi}$, $C^{\text{e}}_{pi}$), Дж/кг/К;

$D_i$ — ингаляционная токсодоза за рассматриваемое время экспозиции в некоторой точке в $i$-м сценарии, кг·с/м$^3$;

$D^0_i$ — составляющая ингаляционной токсодозы за рассматриваемое время экспозиции в некоторой точке при рассеянии первичного облака в $i$-м сценарии, кг·с/м$^3$;

$D^l_i$ — составляющая ингаляционной токсодозы за рассматриваемое время экспозиции в некоторой точке при рассеянии вторичного облака, образующегося на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $D^l_i = D^{\text{ж}}_i$, $D^{\text{отс. выб}}_i$, $D^{\text{г}}_i$, $D^{\text{ги}}_i$, $D^{\text{и}}_i$, $D^{\text{e}}_i$), кг·с/м$^3$;

$D_{i\,\max}$ — ингаляционная токсодоза в некоторой точке на оси $y = 0$, $z = 0$ за рассматриваемое время экспозиции в $i$-м сценарии, кг·с/м$^3$;

$D^0_{i\,\max}$ — составляющая ингаляционной токсодозы в некоторой точке на оси $y = 0$, $z = 0$ за рассматриваемое время экспозиции при рассеянии первичного облака в $i$-м сценарии, кг·с/м$^3$;

$D^l_{i\,\max}$ — составляющая ингаляционной токсодозы за рассматриваемое время экспозиции в некоторой точке на оси $y = 0$, $z = 0$ при рассеянии вторичного облака, образующегося на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $D^l_{i\,\max} = D^{\text{ж}}_{i\,\max}$, $D^{\text{отс. выб}}_{i\,\max}$, $D^{\text{г}}_{i\,\max}$, $D^{\text{ги}}_{i\,\max}$, $D^{\text{и}}_{i\,\max}$, $D^{\text{e}}_{i\,\max}$), кг·с/м$^3$;

$D_{\text{тр}}$ — диаметр трубопровода, м;

$E_{\text{пов}i}$ — удельный тепловой поток от подстилающей поверхности в первичное облако в $i$-м сценарии, Дж/м$^2$;

$E^l_{\text{пов}i}$ — удельный тепловой поток от подстилающей поверхности во вторичное облако, образующееся на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $E^l_{\text{пов}i} = E^{\text{ж}}_{\text{пов}i}$, $E^{\text{отс. выб}}_{\text{пов}i}$, $E^{\text{г}}_{\text{пов}i}$, $E^{\text{ги}}_{\text{пов}i}$, $E^{\text{и}}_{\text{пов}i}$, $E^{\text{e}}_{\text{пов}i}$), Дж/м$^2$/с;

$E_{\text{пов вын}i}$ — удельный тепловой поток за счет вынужденной конвекции от подстилающей поверхности в первичное облако в $i$-ом сценарии, Дж/м$^2$;

$E^{l}_{\text{пов выні}}$ — удельный тепловой поток за счет вынужденной конвекции от подстилающей поверхности во вторичное облако, образующееся на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $E^{l}_{\text{пов выні}} = E^{\text{ж}}_{\text{пов выні}}$, $E^{\text{отс.выб}}_{\text{пов выні}}$, $E^{\text{г}}_{\text{пов выні}}$, $E^{\text{ги}}_{\text{пов выні}}$, $E^{\text{и}}_{\text{пов выні}}$, $E^{\text{е}}_{\text{пов выні}}$), Дж/м$^2$/с;

$E_{\text{пов есті}}$ — удельный тепловой поток за счет естественной конвекции от подстилающей поверхности в первичное облако в $i$-м сценарии, Дж/м$^2$;

$E^{l}_{\text{пов есті}}$ — удельный тепловой поток за счет естественной конвекции от подстилающей поверхности во вторичное облако, образующееся на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $E^{l}_{\text{пов есті}} = E^{\text{ж}}_{\text{пов есті}}$, $E^{\text{отс.выб}}_{\text{пов есті}}$, $E^{\text{г}}_{\text{пов есті}}$, $E^{\text{ги}}_{\text{пов есті}}$, $E^{\text{и}}_{\text{пов есті}}$, $E^{\text{е}}_{\text{пов есті}}$), Дж/м$^2$/с;

$E_{\text{эффі}}$ — эффективная внутренняя энергия в первичном облаке в $i$-м сценарии, Дж;

$E^{l}_{\text{эффі}}$ — эффективный поток внутренней энергии во вторичном облаке, образующемся на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $E^{l}_{\text{эффі}} = E^{\text{ж}}_{\text{эффі}}$, $E^{\text{отс. выб}}_{\text{эффі}}$, $E^{\text{г}}_{\text{эффі}}$, $E^{\text{ги}}_{\text{эффі}}$, $E^{\text{и}}_{\text{эффі}}$, $E^{\text{е}}_{\text{эффі}}$), Дж/с;

$F$ — площадь поверхности пролива жидкого опасного вещества, м$^2$;

$F'$ — площадь поверхности пролива жидкого опасного вещества при образовании первичного облака в сценарии 4, м$^2$;

$F_{\text{конт}}$ — площадь контакта жидкого опасного вещества с подстилающей поверхностью при проливе, м$^2$;

$F_{\text{обв}}$ — площадь обвалования, при неограниченном проливе принимается большой (бесконечной) величиной, м$^2$;

$\Delta H_{\text{кип}}$ — теплота испарения (кипения) жидкого опасного вещества, Дж/кг;

$H$ — высота столба жидкости опасного вещества в оборудовании над уровнем отверстия, через которое происходит истечение, м; при истечении из трубопровода, на входе которого стоит насос, принимается равной 0 м;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$H_i$ — высота первичного облака опасного вещества в начальный момент времени (на месте выброса) в $i$-м сценарии, м;

$H_{эффi}$ — эффективная высота первичного облака в $i$-м сценарии, м;

$H^l_{эффi}$ — эффективная высота вторичного облака, образующегося на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $H^l_{эффi} = H^{ж}_{эффi}$, $H^{отс.\ выб}_{эффi}$, $H^{г}_{эффi}$, $H^{ги}_{эффi}$, $H^{и}_{эффi}$, $H^{е}_{эффi}$), м;

$H^l_i$ — высота начального сечения вторичного облака, образующегося на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $H^l_i = H^{ж}_i$, $H^{отс.\ выб}_i$, $H^{г}_i$, $H^{ги}_i$, $H^{и}_i$, $H^{е}_i$), м;

$H^{отс}_{тр}$ — высота столба жидкого опасного вещества в трубопроводе над уровнем отверстия, через которое происходит истечение, м; берется на момент отсечения аварийного участка трубопровода; если количество опасного вещества в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса, принимается равной 0 м;

$K$ – безразмерная вспомогательная величина, зависящая от длины участка трубопровода $L$ от входа до места разгерметизации;

$L$ — длина участка трубопровода от его начала до места разгерметизации, м;

$L_{МО}$ — масштаб Монина—Обухова, м;

$LCt_{50}$ — смертельная токсодоза, мг·мин/л;

$P_i$ — давление в оборудовании в $i$-м сценарии, Па; при истечении из трубопровода, на входе которого стоит насос (компрессор), принимается равной давлению на выходе насоса (компрессора);

$P_0$ — давление в окружающей среде, кПа; при нормальных условиях принимается равным 101,325 кПа;

$PCt_{50}$ - пороговая токсодоза, мг·мин/л;

Pr — значение пробит-функции;

$Q$ — общая масса опасного вещества в оборудовании, включает массу жидкости и массу газа; при выбросах из трубопровода с насосом (компрессором) на входе задается равной бесконечной величине; при выбросе из трубопровода, на котором возможно отсе-

чение аварийного участка, не включает массу в отсекаемом участке аварийного трубопровода, кг;

$Q^{г}$ — масса газообразного опасного вещества в оборудовании, кг;

$Q^{ж}$ — масса жидкого опасного вещества в оборудовании (при истечении из трубопровода с насосом на входе равно $Q_H^{ж}$), кг;

$Q_3^{г}$ — масса опасного вещества, переходящая в газовую фазу в первичное облако при мгновенном вскипании перегретого опасного вещества в сценарии 3, кг;

$Q_3^{ж}$ — масса опасного вещества, переходящая в аэрозоль в первичное облако в сценарии 3, кг;

$Q_3^{и}$ — масса опасного вещества, переходящая в газовую фазу в первичное облако при кипении пролива в сценарии 3, кг;

$Q_i$ — масса опасного вещества (включая жидкую и газообразную фазы), образующая первичное облако в $i$-м сценарии, кг;

$Q_i^{разб}$ — масса воздуха, подмешиваемого в первичное облако в $i$-м сценарии на начальной стадии, кг;

$Q_H^{ж}$ — масса жидкого опасного вещества в оборудовании выше уровня отверстия, через которое происходит истечение, кг; задается на момент времени, соответствующий началу аварии; при истечении из трубопровода с насосом на входе принимается равной бесконечной величине; если аварийное отверстие выше уровня жидкости, то величина принимается равной 0 кг; если истечение происходит из трубопровода, присоединенного к емкости, то $Q_H^{ж}$ включает и массу жидкости в трубопроводе от емкости до начала отсекаемого аварийного участка;

$Q_{H^{отс.тр}}^{ж}$ — масса жидкого опасного вещества в отсекаемом участке аварийного трубопровода выше уровня отверстия, через которое происходит истечение, кг; задается на момент отсечения аварийного участка трубопровода; при истечении из трубопровода в сценарии 4 принимается равной 0 кг, если количество опасного вещества в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса; если аварийное отверстие находится выше уровня жидкости, то величина принимается равной 0 кг;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$Q^{ж}_{Hтр}$ — масса жидкого опасного вещества в отсекаемом участке аварийного трубопровода выше уровня отверстия, через которое происходит истечение, кг; величина задается на момент начала аварии; при истечении из трубопровода в сценарии 4 принимается равной 0 кг, если количество опасного вещества в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса;

$Q_{вз}$ — масса опасного вещества, находящаяся во взрывоопасных пределах (распределенная в пространстве между поверхностями с концентрациями, равными НКПР и ВКПР) и способная участвовать в процессах горения и взрыва, кг;

$Q_{жi}$ — масса опасного вещества, находящаяся в первичном облаке в жидкой фазе (каплях) в $i$-м сценарии, кг;

$Q^{0}_{жi}$ — масса опасного вещества, находящаяся в первичном облаке в жидкой фазе (каплях) в $i$-м сценарии в начальный момент (на месте выброса), кг;

$Q^{г}_{отс}$ — масса газообразного опасного вещества в аварийном участке трубопровода на момент отсечения, кг; при истечении из трубопровода в сценарии 4 принимается равной 0 кг, если количество опасного вещества в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса;

$Q_{сумi}$ — эффективная масса первичного облака в $i$-м сценарии, включает газообразное опасное вещество, опасное вещество в жидкой фазе и воздух, кг;

$Q_{тр}$ — общая масса опасного вещества в отсекаемом участке аварийного трубопровода, кг; включает массу жидкости в сценарии 4 или массу газа в сценарии 2; при выбросах опасного вещества из емкости задается равной нулю;

$Q^{ж}_{тр}$ — масса жидкого опасного вещества, способного вместиться в отсекаемом участке трубопровода; величина задается на момент начала аварии; определяется перемножением объема, занимаемого жидкостью в отсекаемом участке трубопровода, на плотность жидкого опасного вещества, кг;

$Q^{ж}_{тр^{отс}}$ — масса жидкого опасного вещества в отсекаемом участке аварийного трубопровода на момент отсечения, кг; при истечении

из трубопровода в сценарии 4 принимается равной 0 кг, если количество опасного вещества в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса;

$R$ — универсальная газовая постоянная, равная 8,3144 Дж/К/моль;

$R_i$ — радиус первичного облака опасного вещества в начальный момент времени (на месте выброса) в $i$-м сценарии, м;

$R_{эффi}$ — эффективный радиус первичного облака в $i$-м сценарии, м;

$Ri_*$ — число Ричардсона;

$S$ — площадь аварийного отверстия, м$^2$;

$S_{max}$ — эффективная площадь эмиссии из разгерметизированного оборудования, м$^2$;

$S_{yi}$ — горизонтальная дисперсия при рассеянии первичного облака в $i$-м сценарии, м;

$S^l_{yi}$ — горизонтальная дисперсия при рассеянии вторичного облака, образующегося на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $S^l_{yi} = S^{ж}_{yi}$, $S^{отс.\ выб}_{yi}$, $S^{г}_{yi}$, $S^{ги}_{yi}$, $S^{и}_{yi}$, $S^{e}_{yi}$), м;

$S_{zi}$ — вертикальная дисперсия при рассеянии первичного облака в $i$-м сценарии, м;

$S^l_{zi}$ — вертикальная дисперсия при рассеянии вторичного облака, образующегося на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $S^l_{zi} = S^{ж}_{zi}$, $S^{отс.\ выб}_{zi}$, $S^{г}_{zi}$, $S^{ги}_{zi}$, $S^{и}_{zi}$, $S^{e}_{zi}$), м;

$S_{обор}$ — максимальная площадь поверхности жидкости внутри оборудования, м$^2$;

$S_{тр}$ — площадь поперечного сечения трубопровода, м$^2$;

$T^0_i$ — температура в облаке в начальный момент времени (на месте выброса), К;

$T_i$ — температура, при которой находится опасное вещество внутри оборудования в $i$-м сценарии, К;

$T_{эффi}$ — эффективная температура среды в первичном облаке в $i$-м сценарии, К;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$T^{l}_{эффi}$ — эффективная температура среды во вторичном облаке, образующемся на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $T^{l}_{эффi} = T^{ж}_{эффi}$, $T^{отс.\ выб}_{эффi}$, $T^{т}_{эффi}$, $T^{ти}_{эффi}$, $T^{ти}_{эффi}$, $T^{е}_{эффi}$), К;

$T_{возд}$ — температура воздуха, К;

$T_{кип}$ — температура кипения жидкого опасного вещества при давлении $P_0$, К;

$T_{п}$ — температура подстилающей поверхности, на которую происходит пролив жидкой фазы опасного вещества, К;

$T_{пов.\ рас}$ — температура подстилающей поверхности, над которой происходит рассеяние выброса, К;

$T_{прив}$ – вспомогательная (приведенная) температура, используемая при расчете скорости испарения, К;

$T_{прол}$ — температура жидкой фазы в проливе в начальный момент времени, К;

$V$ — объем, м$^3$;

$V_{взр}$ — взрывоопасный объем;

$V_i$ — объем оборудования в $i$-м сценарии, м$^3$, при выбросе с трубопровода, на входе которого стоит компрессор (насос), принимается равным бесконечной величине;

$V_{эффi}$ — эффективный удельный объем среды в первичном облаке в $i$-м сценарии, м$^3$/кг;

$V^{l}_{эффi}$ — эффективный удельный объем среды во вторичном облаке, образующемся на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $V^{l}_{эффi} = V^{ж}_{эффi}$, $V^{отс.\ выб}_{эффi}$, $V^{т}_{эффi}$, $V^{ти}_{эффi}$, $V^{ти}_{эффi}$, $V^{е}_{эффi}$), м$^3$/кг;

$a$ — безразмерная вспомогательная величина при расчете динамической скорости;

$a_{Pr}$ — коэффициент при расчете пробит-функции;

$b$ — вспомогательный коэффициент при расчете числа Ричардсона;

$b^{l}_{i}$ — полуширина ядра вторичного облака, образующегося на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $b^{l}_{i} = b^{ж}_{i}$, $b^{отс.\ выб}_{i}$, $b^{г}_{i}$, $b^{ти}_{i}$, $b^{и}_{i}$, $b^{е}_{i}$), м;

$b_{Pr}$ — коэффициент при расчете пробит-функции;

$c_i$ — концентрация опасного вещества в воздухе в некоторой точке в некоторый момент времени в $i$-м сценарии, кг/м$^3$;

$c_i^0$ — концентрация опасного вещества в некоторой точке в некоторый момент времени при рассеянии первичного облака в $i$-м сценарии, кг/м$^3$;

$c_i^l$ — концентрация опасного вещества в некоторой точке в некоторый момент времени при рассеянии вторичного облака, образующегося на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $c_i^l = c_i^{ж}$, $c_i^{отс.\ выб}$, $c_i^{г}$, $c_i^{ги}$, $c_i^{и}$, $c_i^{e}$), кг/м$^3$;

$c_{ВКПР}$ — концентрация топлива (пожаровзрывоопасного вещества) в смеси с воздухом, соответствующая ВКПР, кг/м$^3$;

$c_{п}$ — теплоемкость подстилающей поверхности, на которую проливается опасное вещество, Дж/кг/К;

$c_{НКПР}$ — концентрация топлива (пожаровзрывоопасного вещества) в смеси с воздухом, соответствующая НКПР, кг/м$^3$;

$c_{цi}$ — концентрация опасного вещества в центре облака в некоторый момент времени при рассеянии первичного облака в $i$-м сценарии, кг/м$^3$;

$c_{цi}^l$ — концентрация опасного вещества в центре (на оси) облака в некоторый момент времени при рассеянии вторичного облака, образующегося на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $c_i^l = c_{цi}^{ж}$, $c_{цi}^{отс.\ выб}$, $c_{цi}^{г}$, $c_{цi}^{ги}$, $c_{цi}^{и}$, $c_{цi}^{e}$), кг/м$^3$;

$e_{возд}$ — удельная внутренняя энергия подмешиваемого воздуха, Дж/кг;

$g$ — ускорение свободного падения, равно 9,81 м/с$^2$;

$k_L$ — вспомогательный коэффициент для вычисления масштаба Монина—Обухова;

$P$ — вспомогательный коэффициент для вычисления масштаба Монина—Обухова;

$p_{н}$ — давление насыщенного пара опасного вещества при температуре воздуха, мм рт. ст.;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$p_н(T_4)$ — давление насыщенного пара опасного вещества при температуре $T_4$, Па;

$q^{комп}$ — производительность компрессора, кг/с.

Учет производительности компрессора необходим при расчете выброса с трубопровода, на входе которого стоит компрессор, в случае, если площадь аварийного отверстия трубопровода превосходит 20 % площади поперечного сечения трубопровода;

$q^{насос}$ — производительность насоса, кг/с.

Учет производительности насоса необходим при расчете выброса с трубопровода, на входе которого стоит насос, в случае, если площадь аварийного отверстия трубопровода превышает 20 % площади поперечного сечения трубопровода;

$q_i^{l\,разб}$ — расход воздуха, подмешенного на месте выброса во вторичное облако, образующееся на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $q_i^{l\,разб} = q_i^{ж\,разб}, q_i^{отс.\,выб.\,разб}, q_i^{г\,разб}, q_i^{ги\,разб}, q_i^{и\,разб}, q_i^{е\,разб}$), кг/с;

$q_4'$ — скорость поступления в атмосферу газообразного опасного вещества, образующегося при мгновенном вскипании жидкой фазы в случае истечения жидкого опасного вещества из разрушенного оборудования в сценарии 4, кг/с;

$q_4''$ — скорость поступления в атмосферу капель (аэрозоля) опасного вещества, образующихся при мгновенном вскипании жидкой фазы в случае истечения жидкого опасного вещества из разрушенного оборудования в сценарии 4, кг/с;

$q_{4отс}'$ - скорость поступления в атмосферу газообразного опасного вещества, образующегося при мгновенном вскипании жидкой фазы в случае истечения жидкого опасного вещества из разрушенного трубопровода после отсечения аварийного участка в сценарии 4, кг/с; принимается равной 0 кг/с, если количество опасного вещества в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса;

$q_{4отс}''$ — скорость поступления в атмосферу капель (аэрозоля) опасного вещества, образующихся при мгновенном вскипании жидкой фазы в случае истечения жидкого опасного вещества из

разрушенного трубопровода после отсечения аварийного участка в сценарии 4, кг/с; принимается равной 0 кг/с, если количество опасного вещества в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса;

$q_i^l$ — расход опасного вещества (газообразного и находящегося в жидкой фазе) во вторичном облаке, образующемся на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $q_i^l = q_i^{ж}$, $q_i^{отс.\ выб}$, $q_i^{г}$, $q_i^{ги}$, $q_i^{и}$, $q_i^{е}$), кг/с; $q_i^{отс.\ выб}$ принимается равным 0 кг/с, если количество опасного вещества в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общего количества выброса;

$q_{выб}$ — скорость выброса жидкого опасного вещества при истечении жидкого опасного вещества из разрушенного оборудования в сценарии 4, кг/с;

$q_{выб}^{отс}$ — скорость выброса опасного вещества при истечении жидкого опасного вещества из разрушенного оборудования после отсечения аварийного участка трубопровода в сценарии 4, кг/с;

$q_{жi}^l$ — суммарный расход опасного вещества, находящегося в жидкой фазе (каплях), во вторичном облаке, образующемся на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $q_i^l = q_{жi}^{ж}$, $q_{жi}^{отс.\ выб}$, $q_{жi}^{г}$, $q_{жi}^{ги}$, $q_{жi}^{и}$, $q_{жi}^{е}$), кг/с;

$q_{жi}^{0l}$ — суммарный расход опасного вещества, находящегося в жидкой фазе (каплях), на месте эмиссии вторичного облака, образующегося на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $q_{жi}^{0l} = q_{жi}^{0ж}$, $q_{жi}^{0отс.\ выб}$, $q_{жi}^{0г}$, $q_{жi}^{0ги}$, $q_{жi}^{0и}$, $q_{жi}^{0е}$), кг/с;

$q_{сумi}^l$ — эффективный суммарный расход воздуха и опасного вещества (включая жидкую и газообразную фазы) во вторичном облаке, образующемся на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $q_{сумi}^l = q_{сумi}^{ж}$, $q_{сумi}^{отс.\ выб}$, $q_{сумi}^{г}$, $q_{сумi}^{ги}$, $q_{сумi}^{и}$, $q_{сумi}^{е}$), кг/с;

$k$ — константа Кармана, равна 0,41;

$r_i$ — радиус центральной части (ядра) первичного облака в $i$-м сценарии, м;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$t$ — время, с;

$t'$ — составляющая времени формирования первичного облака от начала выброса до времени отсечения аварийного участка трубопровода в сценарии 4, с;

$t_0$ — момент времени, для которого определяются размеры зон достижения 0,5 НКПР и ВКПР, с;

$t_{av}$ — время осреднения при расчете дисперсии вдоль оси $y$ ($\sigma_y$), с; принимается в каждой точке равным времени прихода в эту точку облака, но не менее 600 с;

$t_i^l$ — длительность поступления опасного вещества в атмосферу за счет истечения (испарения) (время формирования соответствующего вторичного облака) на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $t_i^l = t_i^{ж}$, $t_i^{отс.\ выб}$, $t_i^{г}$, $t_i^{ги}$, $t_i^{и}$, $t_i^{с}$), с; $t_i^{отс.\ выб}$ принимается равным 0 с, если количество опасного вещества в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общего количества выброса;

$t_{maxi}$ — время достижения максимальной концентрации опасного вещества в некоторой точке в $i$-м сценарии, с;

$t^{г}_{max}$ — максимально возможная длительность истечения газообразного опасного вещества из разрушенного оборудования в сценарии 4, с;

$t^{ги}_{max}$ — максимально возможная длительность истечения газообразного опасного вещества из разрушенного оборудования в сценарии 4 после испарения пролива, с;

$t_{исп}$ — длительность испарения пролива после окончания истечения жидкого опасного вещества для случая, если продолжается истечение газовой фазы, с;

$t'_{исп}$ — вспомогательная величина при расчете $t'_{отс}$, с;

$t''_{исп}$ — вспомогательная величина при расчете $t''_{отс}$, с;

$t_{кип}$ — время, в течение которого опасное вещество поступает в первичное облако из-за интенсивного кипения жидкого ОВ в проливе за счет теплопритока от подстилающей поверхности, с;

$t_{ликвид}$ — время ликвидации аварийного отверстия (разгерметизации) и пролива, с; если ликвидации не происходит, принимается равным бесконечности;

$t_{отс}$ — время отсечения аварийного участка трубопровода (время остановки компрессора (насоса), с;

$t'_{отс}$ — составляющая времени формирования первичного облака, с;

$t_{экс}$ — время экспозиции, с;

$u_*$ — динамическая скорость, м/с;

$u^0_{0эффi}$ — эффективная скорость движения первичного облака в $i$-м сценарии в начальный момент времени (на месте выброса), м/с;

$u^l_{0эффi}$ — эффективная скорость движения вторичного облака, образующегося на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $u^l_{0эффi} = u^{ж}_{0эффi}$, $u^{отс. выб}_{0эффi}$, $u^{г}_{0эффi}$, $u^{ги}_{0эффi}$, $u^{и}_{0эффi}$, $u^{е}_{0эффi}$) на месте выброса, м/с;

$u_{10}$ — скорость ветра на высоте $z_{10}$, м/с;

$u_t$ — вспомогательная величина при расчете числа Ричардсона, м/с;

$u^{верх}_{подм}$ — скорость подмешивания воздуха в облако за счет диффузии в вертикальном направлении, м/с;

$u_{эффi}$ — эффективная скорость движения первичного облака в $i$-м сценарии, м/с;

$u^l_{эффi}$ — эффективная скорость движения вторичного облака, образующегося на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $u^l_{эффi} = u^{ж}_{эффi}$, $u^{отс. выб}_{эффi}$, $u^{г}_{эффi}$, $u^{ги}_{эффi}$, $u^{и}_{эффi}$, $u^{е}_{эффi}$), м/с;

$w_*$ — вспомогательная величина при расчете числа Ричардсона, м/с;

$x$ — пространственная переменная (координата вдоль ветра), м;

$x_0$ — расстояние от места выброса до плоскости, перпендикулярной направлению ветра, для которой определяются размеры (по $y$ и по $z$) зон достижения 0,5 НКПР и ВКПР, м;

$x^l_{зi}$ — координата задней кромки вторичного облака, образующегося на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $x^l_{зi} = x^{ж}_{зi}$, $x^{отс. выб}_{зi}$, $x^{г}_{зi}$, $x^{ги}_{зi}$, $x^{и}_{зi}$, $x^{е}_{зi}$), м;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$x_{пi}^{l}$ — координата передней кромки вторичного облака, образующегося на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l\, x_{пi}^{l} = x_{пi}^{ж}, x_{пi}^{отс.\ выб}, x_{пi}^{г}, x_{пi}^{ги}, x_{пi}^{и}, x_{пi}^{е}$), м;

$x_{цi}$ — координата центра первичного облака в $i$-м сценарии, м;

$y$ — пространственная переменная (координата, перпендикулярная направлению ветра), м;

$y_0$ — расстояние от оси выброса до перпендикулярной поверхности земли плоскости, для которой определяются размеры (по $x$ и по $z$) зон достижения 0,5 НКПР и ВКПР; для плоскости проходящей через ось выброса $y_0 = 0$, м;

$z$ — пространственная переменная (координата высоты), м;

$z_0$ — высота над поверхностью земли плоскости, для которой определяются размеры (по $x$ и по $y$) зон достижения 0,5 НКПР и ВКПР, для поверхности земли $z_0 = 0$, м;

$z_{10}$ — стандартная высота, на которой задается скорость ветра, принимается равной 10 м;

$z_{пов}$ — характерный размер шероховатости поверхности, м;

$\Sigma_{ВКПР}(x,y,z)$ — соотношение, описывающее поверхность в пространстве с концентрацией ВКПР;

$\Sigma_{0,5НКПР}(x,y,z)$ — соотношение, описывающее поверхность в пространстве с концентрацией 0,5 НКПР;

Ф — безразмерная вспомогательная величина при расчете скорости подмешивания воздуха в облако;

$\alpha$ — объемная доля газовой фазы в оборудовании;

$\alpha_в$ — показатель степенной зависимости скорости ветра от высоты;

$\alpha_{i\,возд}$ — количество массовых долей воздуха (на единичную массовую долю ОВ), подмешивающегося в первичное облако на начальном этапе в $i$-м сценарии;

$\alpha_{i\,возд}^{l}$ — количество массовых долей воздуха (на единичную массовую долю ОВ), подмешивающегося во вторичное облако на начальном этапе на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии;

$\beta$ — вспомогательный коэффициент, $\beta = 1 + \alpha_в$;

$\gamma$ — показатель адиабаты опасного вещества в газообразной фазе;

$\gamma_y$ — вспомогательная величина при расчете $\sigma_y$;

$\gamma_{подм}$ — коэффициент пропорциональности при расчете воздуха в облаке при подмешивании через боковую поверхность; равен 0,63;

$\delta$ — вспомогательная величина при расчете $\sigma_y$;

$\varphi$ — вспомогательная величина при расчете динамической скорости;

$\lambda_п$ — коэффициент теплопроводности подстилающей поверхности, на которую проливается опасное вещество, Вт/К/м;

$\mu$ — молярная масса опасного вещества, кг/моль;

$\mu_{возд}$ — молярная масса воздуха, кг/моль;

$\mu_{эффi}$ — эффективная молярная масса газообразной смеси опасного вещества с воздухом в первичном облаке в $i$-м сценарии, кг/моль;

$\mu^l_{эффi}$ — эффективная молярная масса газообразной смеси опасного вещества с воздухом во вторичном облаке, образующемся на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $\mu^l_{эффi} = \mu^{ж}_{эффi}, \mu^{отс.выб}_{эффi}, \mu^{г}_{эффi}, \mu^{ги}_{эффi}, \mu^{и}_{эффi}, \mu^{е}_{эффi}$), кг/моль;

$\pi$ — число, равное 3,14159..., отношение длины окружности к диаметру;

$\rho(p_н(T_4), T_4)$ — плотность газообразного опасного вещества при температуре $T_4$ и давлении $p_н(T_4)$, кг/м$^3$;

$\rho_i$ — плотность газовой фазы опасного вещества в оборудовании в $i$-м сценарии, кг/м$^3$;

$\rho_{возд}$ — плотность воздуха в окружающей среде, кг/м$^3$;

$\rho_ж$ — плотность жидкого опасного вещества, кг/м$^3$;

$\rho_{кип}$ — плотность газообразного опасного вещества при температуре кипения и давлении $P_0$, кг/м$^3$;

$\rho_п$ — плотность материала подстилающей поверхности, на которую проливается опасное вещество, кг/м$^3$;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$\rho_{эффi}$ — эффективная плотность среды в первичном облаке в $i$-м сценарии, кг/м$^3$;

$\rho^{l}_{эффi}$ — эффективная плотность среды во вторичном облаке, образующемся на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $\rho^{l}_{эффi} = \rho^{ж}_{эффi}$, $\rho^{отс.выб}_{эффi}$, $\rho^{г}_{эффi}$, $\rho^{ги}_{эффi}$, $\rho^{и}_{эффi}$, $\rho^{е}_{эффi}$), кг/м$^3$;

$\rho^{выб}_{i}$ — плотность опасного вещества в первичном облаке в начальный момент (на месте выброса) времени в $i$-м сценарии, кг/м$^3$;

$\rho^{l}_{i}$ — плотность опасного вещества в начальный момент времени во вторичном облаке, образующемся на $l$-й стадии поступления опасного вещества в атмосферу в $i$-м сценарии (при различных $l$ $\rho^{l}_{i} = \rho^{ж}_{i}$, $\rho^{отс.выб}_{i}$, $\rho^{г}_{i}$, $\rho^{ги}_{i}$, $\rho^{и}_{i}$, $\rho^{е}_{i}$), кг/м$^3$; $\rho^{отс.выб}_{i}$ принимается равной 0 кг/м$^3$, если количество опасного вещества в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса;

$\sigma_y$ — дисперсия вдоль оси $y$ (в поперечном направлении), м.

*Обозначение индексов*

г — стадия аварии, на которой происходит истечение газообразного опасного вещества из оборудования при наличии пролива;

ги — стадия аварии, на которой происходит истечение газообразного опасного вещества из оборудования в отсутствие пролива;

е — стадия аварии, на которой происходит испарение опасного вещества, оставшегося в оборудовании (пролив отсутствует);

ж — стадия аварии, на которой происходит истечение жидкого опасного вещества из оборудования;

и — стадия аварии, на которой происходит испарение опасного вещества из пролива;

отс. выб — стадия аварии, на которой происходит истечение жидкого опасного вещества из разрушенного трубопровода после отсечения аварийного участка.

*Обозначение функций*

| | — модуль величины, равен самой величине, если величина больше нуля, и величине со знаком минус, если величина меньше нуля; например, 5 = |–5 |;

sign — знак величины, равен 1, если величина больше нуля, минус 1, если величина меньше нуля, и 0, если величина 0; например, 1 = sign(5);

min — минимальное из всех значений, например, 3 = min{3, 5};

min sum($\alpha_1$, $\alpha_2$, $\alpha_3$, ..., $\alpha_n$) — разность величины $\alpha_1$ и суммы $\alpha_2$, $\alpha_3$, ..., $\alpha_n$, если эта разность величина положительная, и 0 в противном случае;

$$\min\operatorname{sum}(\alpha_1,\ \alpha_2,\ \alpha_3,\ldots,\ \alpha_n)=\frac{\alpha_1-\sum_{k=2}^{n}\alpha_i+\left|\alpha_1-\sum_{k=2}^{n}\alpha_i\right|}{2};$$

например,

$$\min\operatorname{sum}(2,\ 1,\ 3,\ 4)=\frac{2-(1+3+4)+\left|2-(1+3+4)\right|}{2}=\frac{-6+6}{2}=0$$

или

$$\min\operatorname{sum}(9,\ 1,\ 3,\ 4)=\frac{9-(1+3+4)+\left|9-(1+3+4)\right|}{2}=\frac{1+1}{2}=1.$$

$\Gamma(a)=\int_0^{+\infty}x^{a-1}e^{-x}dx$ — гамма-функция (Г-функции, интеграл Эйлера второго рода) при $a > 0$.

Основные соотношения для Г-функции:

$$\Gamma(a) = (a-1)\Gamma(a-1),$$

$$\Gamma(a+1) = a\Gamma(a),$$

$$\Gamma(1) = 1,$$

$$\Gamma(0{,}5) = \sqrt{\pi}.$$

exp($x$) — экспонента действительного числа $x$ (число $e = 2{,}71...$ в степени $x$, $e^x$), например, exp(–0,3) = 0,74081822068..., exp(1,3)=3,6692966676...;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

ln($x$) — натуральный логарифм действительного числа $x$; например, ln(0,740818220) = 0,3000..., exp(3,669297) = 1,3...;

arctg($x$) — арктангенс действительного числа $x$ (в радианах), например, arctg(1)=0,785398... .

***Приложение № 2***
*к Руководству*

## Термины и определения

В настоящем документе используются следующие термины с соответствующими определениями:

***авария*** — разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ;

***время экспозиции*** — время, за которое набирается ингаляционная токсодоза (верхний предел интегрирования концентрации опасного вещества по времени в формуле расчета токсодозы);

***вторичное облако (или шлейф)*** — облако опасного вещества, образующееся в результате длительного выброса газа или перегретой вскипающей жидкости, а также в результате испарения опасного вещества с подстилающей поверхности или из разгерметизированного оборудования и распространяющееся по ветру от места выброса; во вторичном облаке может существовать ядро – область пространства, в которой концентрация на заданной высоте постоянна (не изменяется при перемещении в горизонтальном направлении, перпендикулярном ветру, хотя может изменяться при перемещении по вертикали);

***ингаляционная токсодоза*** — интеграл по времени концентрации опасного вещества в воздухе; при условно постоянной во времени концентрации опасного вещества в заданной точке — произведение концентрации опасного вещества в воздухе на время экспозиции;

***класс устойчивости атмосферы*** — совокупность метеорологических факторов (скорость ветра, облачность, вертикальный тепловой поток), создающих определенные условия рассеяния в атмосфере. В зависимости от состояния атмосферы выделяют шесть классов: A, B, C, D, E, F;

***концентрационные пределы распространения пламени*** — нижний (верхний) концентрационный предел распространения пламени

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

(НКПР (ВКПР) — минимальное (максимальное) содержание горючего вещества в однородной смеси с окислительной средой, при котором возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания;

***облако опасного вещества*** — область пространства, ограниченная поверхностями заданной концентрации опасного вещества;

обоснование безопасности — документ, содержащий сведения о результатах оценки риска аварии на опасном производственном объекте и связанной с ней угрозы, условия безопасной эксплуатации опасного производственного объекта, требования к эксплуатации, капитальному ремонту, консервации и ликвидации опасного производственного объекта;

***опасный производственный объект*** — предприятие или его цехи, участки, площадки, а также иные производственные объекты, указанные в приложении 1 к Федеральному закону от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»;

***опасные вещества*** — воспламеняющиеся, окисляющие, горючие, взрывчатые, токсичные, высокотоксичные вещества и вещества, представляющие опасность для окружающей природной среды, указанные в приложении 1 к Федеральному закону от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»;

***отсекаемый участок аварийного трубопровода*** — участок трубопровода, на котором происходит выброс опасного вещества, между двумя ближайшими к месту выброса задвижками (насосами или компрессорами), которые при срабатывании (отключении) блокируют аварийный участок трубопровода;

***отсечение аварийного участка трубопровода (отсечение аварийного потока)*** — остановка насоса (компрессора), стоящего на входе трубопровода, и (или) срабатывание запорной арматуры (задвижек), установленной на трубопроводе; прекращение подачи опасного вещества к месту выброса опасного вещества из трубопровода. При отсутствии трубопровода, но наличии истечения

из емкости термин «отсечение аварийного участка» относится к прекращению истечения из отверстия, то есть к закупориванию отверстия;

***первичное облако*** — облако опасного вещества, образующееся в результате очень быстрого (за 1–2 минуты) перехода в атмосферу части опасного вещества и распространяющееся по ветру от места выброса, в первичном облаке может существовать ядро — область пространства, в которой концентрация на заданной высоте постоянна;

***пороговая токсодоза*** — наименьшая ингаляционная токсодоза опасного вещества, вызывающая у человека, не оснащенного средствами защиты органов дыхания, начальные признаки поражения организма с определенной вероятностью (табулированное значение для каждого опасного вещества);

***разгерметизация оборудования*** — образование в оборудовании отверстий с размером, существенно меньшим, чем размеры оборудования, через которые опасное вещество в жидком или газообразном состоянии в течение некоторого времени поступает в окружающую среду;

***разрушение оборудования*** — существенное нарушение целостности оборудования с образованием отверстий с размером, сопоставимым с размерами оборудования, при этом содержащееся в оборудовании опасное вещество в жидком или газообразном состоянии мгновенно выбрасывается в окружающую среду;

***риск аварии*** — мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии на опасном производственном объекте и тяжесть ее последствий;

***смертельная (летальная) токсодоза*** — наименьшая ингаляционная токсодоза опасного вещества, вызывающая у человека, не оснащенного средствами защиты органов дыхания, смерть с 50 % вероятностью (табулированное значение для каждого опасного вещества);

***«тяжелый» газ*** — смесь воздуха, газовой фазы и капель опасного вещества, плотность которой выше плотности окружающего воздуха.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

***Приложение № 3***
*к Руководству*

## Схемы распространения первичного и вторичного облаков (с указанием характеристик облаков)

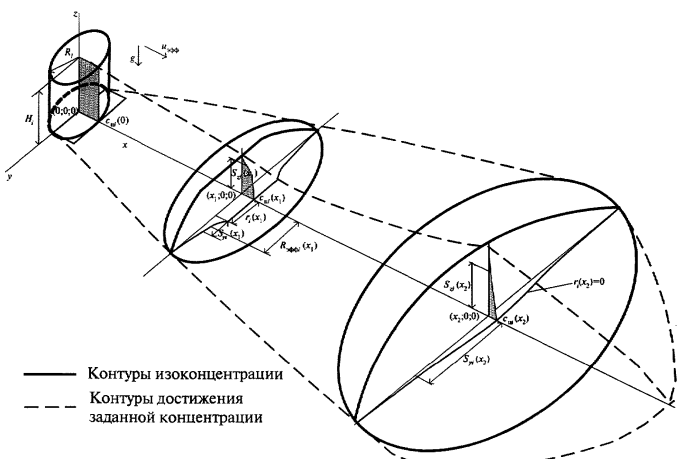


**Рис. 3-1.** Схема распространения первичного облака

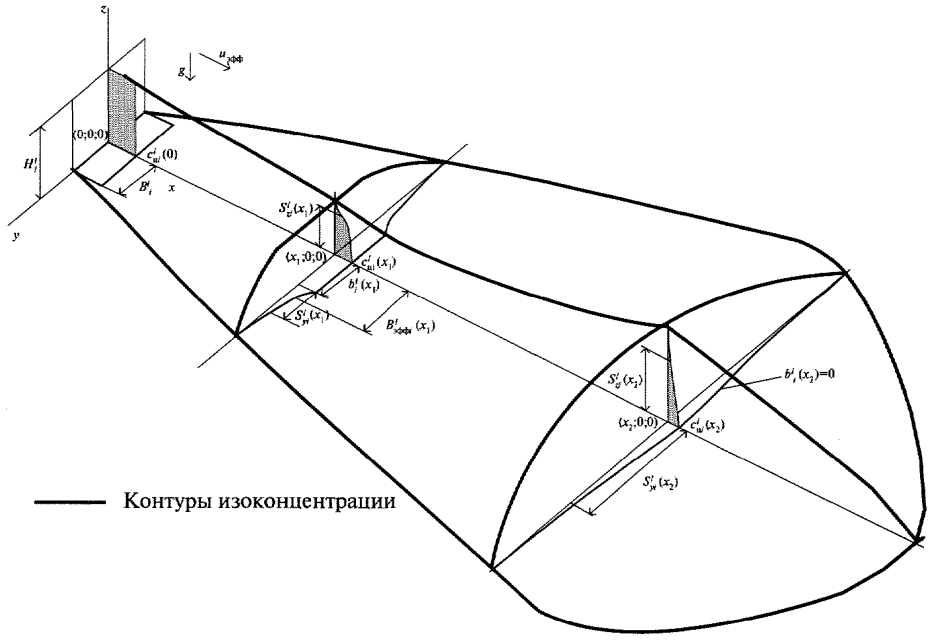


**Рис. 3-2.** Схема распространения вторичного облака

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

***Приложение № 4***
*к Руководству*

**Возможные конфигурации оборудования и схемы его разрушения**

1) Для емкости с газом или жидкой фазой возможно мгновенное разрушение (разрыв) емкости и выброс всего содержимого в окружающую среду (сценарий 1 или сценарий 3; в соответствии с рис. 4-1, 4-2).

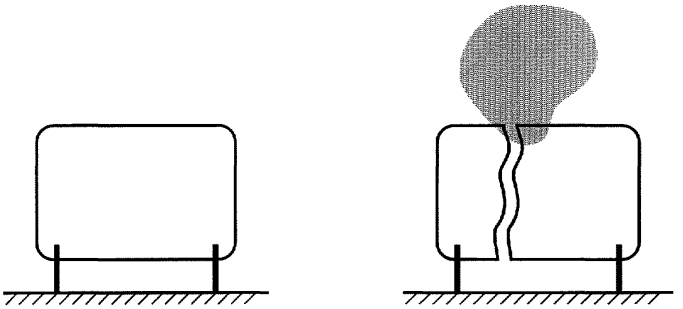

**Рис. 4-1.** Мгновенное разрушение емкости с газом (сценарий 1)

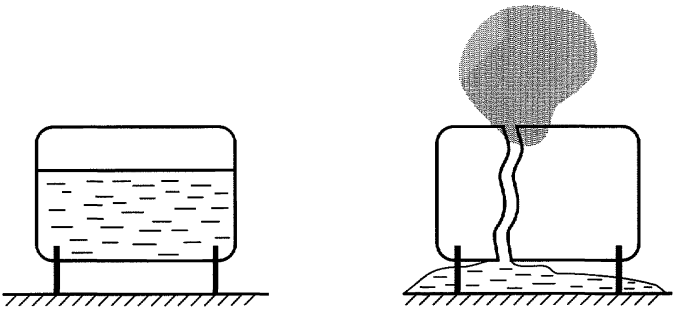

**Рис. 4-2.** Мгновенное разрушение емкости с жидкой фазой (сценарий 3)

2) Для емкости с газом или жидкой фазой возможно образование аварийного отверстия (разгерметизации) в стенке емкости и

последующее истечение газа и (или) жидкости в окружающую среду (сценарий 2 или сценарий 4). При разгерметизации емкости с жидкой фазой возможно образование отверстия как выше, так и ниже уровня жидкости (в соответствии с рис. 4-3 — 4-5).

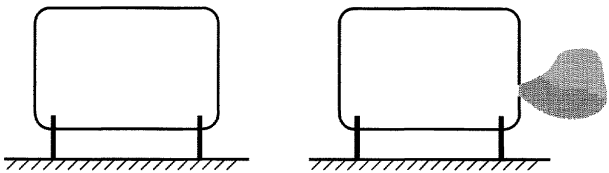

**Рис. 4-3.** Разгерметизация емкости с газом (сценарий 2)

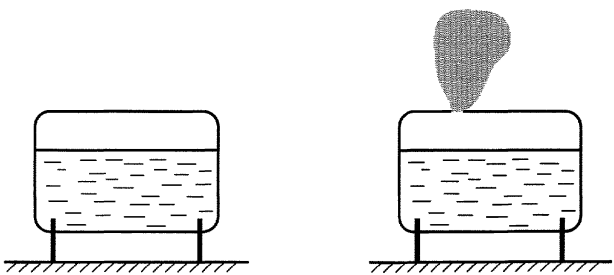

**Рис. 4-4.** Разгерметизация емкости с жидкой фазой выше уровня жидкости (сценарий 4)

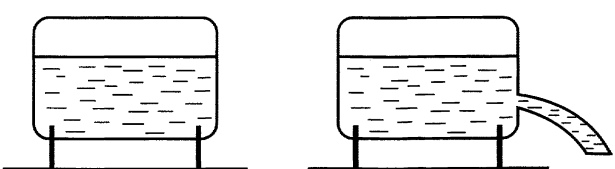

**Рис. 4-5.** Разгерметизация емкости с жидкой фазой ниже уровня жидкости (сценарий 4)

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

3) Для емкости с газом или жидкой фазой с присоединенным трубопроводом возможно образование аварийного отверстия (разгерметизации) в стенке трубопровода либо полный разрыв трубопровода на некотором расстоянии от емкости (сценарий 2 или сценарий 4). При этом трубопровод может быть оснащен запорной арматурой, которая при срабатывании изолирует разгерметизированный (разрушенный) участок трубопровода от емкости. В этом случае в окружающую среду поступают газ и (или) жидкость и (или) двухфазный поток. На рис. 4-6–4-8 отсекаемый участок аварийного трубопровода обозначен «*1*» и расположен справа от задвижки, которая, в свою очередь, расположена на трубопроводе около емкости.

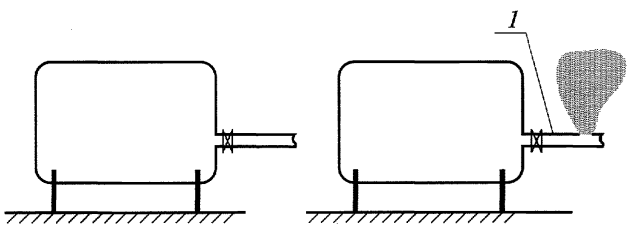


**Рис. 4-6.** Разгерметизация трубопровода с газом, присоединенного к емкости (*1* — отсекаемый участок аварийного трубопровода) (сценарий 2)

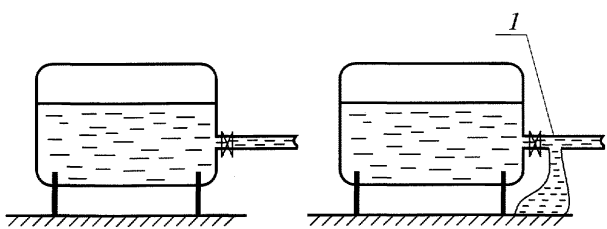


**Рис. 4-7.** Разгерметизация трубопровода с жидкой фазой, присоединенного к емкости (*1* — отсекаемый участок аварийного

трубопровода) (сценарий 4)

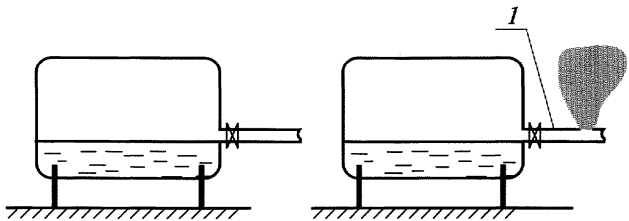


**Рис. 4-8.** Разгерметизация трубопровода с газовой фазой, присоединенного к емкости (*1* — отсекаемый участок аварийного трубопровода) (сценарий 4)

4) Для трубопровода с газом или жидкой фазой с нагнетающим компрессором или насосом возможно образование аварийного отверстия (разгерметизации) в стенке трубопровода либо полный разрыв трубопровода на некотором расстоянии от компрессора (насоса) (сценарий 2 или сценарий 4). Возможны также разрушения (разгерметизации) самих компрессоров, насосов, в том числе по причине выдавливания сальников у электронасосов, неисправности запорной арматуры (вентилей) и т.д. При этом трубопровод может быть оснащен запорной арматурой, которая при срабатывании изолирует разгерметизированный (разрушенный) участок трубопровода от компрессора (насоса). В этом случае в окружающую среду поступают газ и (или) жидкость и (или) двухфазный поток. На рис. 4-9, 4-10 отсекаемый участок аварийного трубопровода обозначен «*1*» и расположен справа от задвижки, которая, в свою очередь, расположена на трубопроводе около компрессора (насоса).

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

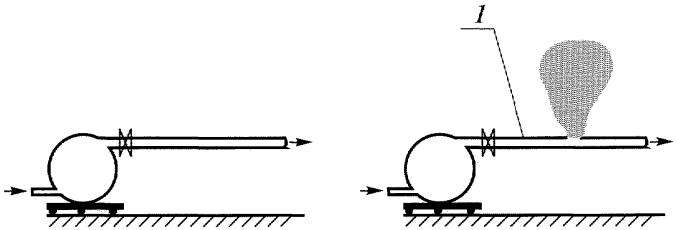


**Рис. 4-9.** Разгерметизация трубопровода с газом, присоединенного к компрессору (*1* — отсекаемый участок аварийного трубопровода) (сценарий 2)

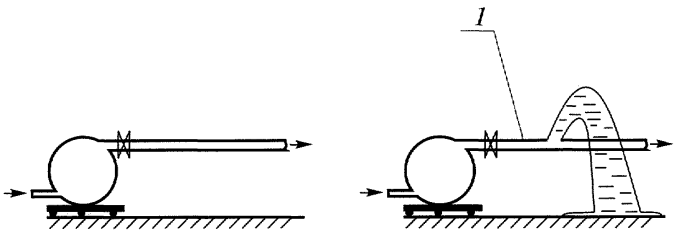


**Рис. 4-10.** Разгерметизация трубопровода с жидкой фазой, присоединенного к насосу (*1* – отсекаемый участок аварийного трубопровода) (сценарий 4)

***Приложение № 5***
*к Руководству*

**Возможные стадии развития аварийной ситуации**

В качестве возможных стадий развития аварийной ситуации рекомендуется рассматривать:

разрушение оборудования и образование первичного облака;

истечение жидкой фазы до отсечения аварийного участка;

истечение жидкой фазы из аварийного участка после его отсечения;

истечение газа при наличии пролива жидкой фазы и испарение с пролива;

истечение газа из разрушенного оборудования при отсутствии пролива жидкой фазы;

испарение с пролива при отсутствии истечения жидкости или газа из разрушенного оборудования;

испарение из емкости при отсутствии пролива;

завершение аварии (ликвидация аварийного отверстия (разгерметизации) и пролива).

Каждая из вышеперечисленных стадий вносит свой вклад в суммарную массу выброса ОВ.

На каждой стадии аварии формируются свои облака ОВ в атмосфере (первичное и вторичные).

В зависимости от сценария, конфигурации оборудования, характера разрушения, свойств ОВ и действий по ликвидации аварии отдельные стадии из приведенных выше могут либо присутствовать, либо отсутствовать в той или иной аварийной ситуации.

Предполагается, что на каждой стадии процесс протекает стационарно.

Для более точных расчетов допускается разделение перечисленных стадий на отдельные подстадии меньшей продолжительности. Для каждой подстадии в этом случае определяются входные данные, указанные в приложении № 6 к настоящему Руководству, с учетом изменений в системе, происшедших на предыдущих подстадиях.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

*Сценарий 1*

Разрушение оборудования с выбросом всего объема ОВ, образование первичного облака, рассеяние первичного облака и воздействие на окружающую среду (в соответствии с рис. 4-1).

*Сценарий 2*

Разрушение оборудования и истечение газа из разрушенного оборудования при отсутствии пролива жидкой фазы; рассеяние облака и воздействие на окружающую среду (в соответствии с рис. 4-3, 4-6, 4-9).

При истечении газа из разрушенного трубопровода возможно отсечение аварийного участка трубопровода (либо в результате использования запорной арматуры, либо в результате остановки компрессоров, подающих ОВ в трубопровод, либо в результате и того и другого) и истечение ОВ из него.

Возможно прекращение выброса путем ликвидации аварийного отверстия (разгерметизации).

*Сценарий 3*

Разрушение оборудования с жидким опасным веществом, выброс ОВ в окружающую среду при наличии перегрева у жидкой фазы возможно ее вскипание с образованием в атмосфере газокапельного облака (в соответствии с рис. 4-2). Часть жидкой фазы может пролиться на подстилающую поверхность — либо в обвалование, либо на неограниченную площадь. Если температура кипения жидкости при этом меньше температуры поверхности, то произойдет вскипание жидкости при ее соприкосновении с подстилающей поверхностью. Из газовой фазы, содержавшейся в оборудовании, из образовавшейся при вскипании за счет перегрева жидкой фазы газокапельной фазы и из газа, образующегося при кипении пролива, образуется первичное облако, которое рассеивается в атмосфере, воздействуя на окружающую среду.

Из пролива происходит испарение ОВ, в результате чего образуется вторичное облако, которое также рассеивается в атмосфере, воздействуя на окружающую среду.

Возможно прекращение поступления ОВ в окружающую среду путем ликвидации пролива.

*Сценарий 4. Аварии на емкости*

Разрушение оболочки емкости выше уровня жидкости и длительное истечение газа из разрушенного оборудования при отсутствии пролива жидкой фазы (если жидкость находится в перегретом состоянии, то происходит вскипание жидкости, в результате которого в дополнение к газовой фазе, содержащейся в емкости на момент начала аварии, добавится газовая фаза, образовавшаяся при кипении), рассеяние газового облака ОВ (вторичного) и воздействие его на окружающую среду (в соответствии с рис. 4-4, 4-5). После спада давления в емкости до атмосферного поступление ОВ в окружающую среду будет обусловлено лишь испарением ОВ с поверхности жидкости в емкости. При этом в атмосфере образуется вторичное облако, состоящее из газообразного ОВ, поступающего из разгерметизированной емкости за счет испарения ОВ из нее. Вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока не испарится все ОВ из емкости. Возможно прекращение выброса путем ликвидации аварийного отверстия (разгерметизации).

Разрушение оболочки емкости ниже уровня жидкости и истечение жидкой фазы из разрушенного оборудования, образование пролива на месте выброса.

Если жидкость в емкости находилась в перегретом состоянии, то происходит вскипание жидкости сразу после ее выброса из емкости и образование в атмосфере газокапельной взвеси. Затем, если температура кипения меньше температуры поверхности, происходит кипение жидкой фазы (той ее части, что не участвовала в формировании газокапельной взвеси в атмосфере) при проливе ее на подстилающую поверхность. При этом из газа, образовавшегося

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

при кипении пролива, а также из газокапельной взвеси выброса, поступившего из емкости в атмосферу за время кипения пролива, формируется первичное облако, которое рассеивается в атмосфере и воздействует на окружающую среду.

При истечении перегретой жидкости выброс жидкой фазы вскипает до выпадения на землю, образуя в атмосфере газокапельную взвесь ОВ. При этом в атмосфере образуется вторичное облако, состоящее из газообразного ОВ, испарившегося с пролива, и (при выбросе перегретой жидкости) из газокапельной взвеси, образующейся при вскипании ОВ сразу после выброса. Такое вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока будет существовать возможность выброса жидкой фазы, то есть до момента выброса из оборудования всей жидкой фазы, находившейся выше уровня разгерметизации. Причем если в емкости находилась перегретая жидкость и если давление могло опуститься ниже давления насыщенного пара, то по мере вытекания жидкости возможно вскипание перегретого ОВ в самой емкости.

После окончания выброса жидкой фазы из емкости начинается истечение газовой фазы за счет наличия избыточного давления в емкости. При этом на стадии истечения газовой фазы продолжается испарение пролива. В результате в атмосфере образуется вторичное облако ОВ, состоящее из газообразного ОВ, испарившегося с пролива, и из газообразного ОВ, поступающего из разрушенной емкости за счет наличия избыточного давления в емкости. Такое вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока будет существовать возможность выброса газовой фазы из емкости за счет избыточного давления в емкости и испарения из пролива. Причем если в емкости находилась перегретая жидкость, то в формирующееся на месте аварии вторичное облако будет поступать не только газовая фаза, находившаяся в емкости на начало аварии, но и газовая фаза, образующаяся при вскипании в емкости с перегретой жидкостью.

Если давление в емкости становится равным атмосферному, то газовая фаза из разгерметизированной емкости перестает посту-

пать в окружающую среду за счет избытка давления. Если пролив ОВ при этом еще не испарился, то в атмосфере образуется вторичное облако ОВ, состоящее из газообразного ОВ, испарившегося с пролива. Такое вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока будет существовать испарение ОВ из пролива.

Если после испарения пролива давление в емкости еще не стало равным атмосферному, то газовая фаза из разгерметизированной емкости продолжает поступать в окружающую среду за счет избыточного давления. В атмосфере при этом образуется вторичное облако ОВ, состоящее из газообразного ОВ. Такое вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока будет существовать избыточное давление в емкости.

Если пролив ОВ на месте аварии испарился и давление в емкости стало равным атмосферному, то поступление ОВ в окружающую среду будет обусловлено лишь испарением ОВ с поверхности жидкости в емкости. При этом в атмосфере образуется вторичное облако, состоящее из газообразного ОВ, поступающего из разгерметизированной емкости за счет испарения. Вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока не испарится все ОВ из емкости.

Возможно прекращение поступления ОВ в окружающую среду путем ликвидации аварийного отверстия и пролива.

*Сценарий 4. Аварии на трубопроводах, на входе которых стоит емкость*

Разрушение трубопровода, выходящего из емкости выше уровня жидкости, и истечение газа из разрушенного оборудования при отсутствии пролива жидкой фазы (в соответствии с рис. 4-7, 4-8). Если жидкость находится в перегретом состоянии, то при падении давления может происходить вскипание жидкости, в результате которого в дополнение к газовой фазе, содержащейся в емкости на момент начала аварии, добавится газовая фаза, образовавшаяся при кипении. При этом в атмосфере происходит рассеяние вторич-

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

ного газового облака ОВ и воздействие его на окружающую среду. При наличии запорной арматуры возможно отсечение аварийного участка трубопровода и истечение ОВ только из этого аварийного участка. Если давление в емкости (или в отсеченном участке трубопровода) уменьшилось и стало равным атмосферному, то поступление ОВ в окружающую среду будет обусловлено лишь его испарением с поверхности жидкости в емкости и (или) в отсеченном участке трубопровода. При этом в атмосфере образуется вторичное облако, состоящее из газа, поступающего из разгерметизированной емкости и (или) отсеченного участка трубопровода за счет испарения. Вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока не испарится все ОВ из емкости.

Возможно прекращение выброса путем ликвидации аварийного отверстия (разгерметизации).

При разрушении трубопровода, выходящего из емкости ниже уровня жидкости, стадии аварии будут аналогичны описанным в разделе «Аварии на емкости с двумя отличиями».

Во-первых, при существенном разрушении трубопровода в случае выброса перегретой жидкости вскипание жидкости может происходить не только в воздухе, но и в самом трубопроводе.

Во-вторых, при наличии на трубопроводе запорной арматуры и срабатывании ее в ходе аварии появляется этап — истечение из отсеченного участка трубопровода, который полностью совпадает по физической картине с описанным выше выбросом из емкости «Сценарий 4. Аварии на емкости».

*Сценарий 4. Аварии на трубопроводах, на входе которых стоит насос*

При разрушении трубопровода происходит истечение жидкой фазы и образование пролива на месте выброса (в соответствии с рис. 4-10). Если жидкость в трубопроводе находилась в перегретом состоянии, то происходит вскипание жидкости либо сразу после ее выброса из трубопровода (случай, когда при сильном разрушении трубопровода место выброса находится вблизи насоса и случаи небольших отверстий разгерметизации), либо внутри трубопровода

(случай, когда при сильном разрушении трубопровода место выброса находится вдали от насоса).

При выбросе перегретой жидкости в атмосфере образуется газокапельная взвесь, а затем происходит кипение жидкой фазы (той ее части, которая не участвовала в формировании газокапельной взвеси в атмосфере) при проливе на подстилающую поверхность, если температура кипения меньше температуры подстилающей поверхности. При этом из газа, образовавшегося при кипении пролива, а также из газокапельной взвеси выброса, поступившего из трубопровода в атмосферу за время кипения пролива, формируется первичное облако, которое рассеивается в атмосфере и воздействует на окружающую среду.

Продолжающийся выброс жидкой фазы идет в пролив, с которого происходит испарение ОВ. При выбросе перегретой жидкости часть жидкой фазы вскипает до выпадения на землю, образуя в атмосфере газокапельную взвесь ОВ. При этом в атмосфере образуется вторичное облако ОВ, состоящее из газообразного ОВ, испарившегося с пролива, и (при выбросе перегретой жидкости) из газокапельной взвеси, образующейся при вскипании ОВ, либо сразу после выброса, либо в трубопроводе. Такое вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока будет существовать возможность выброса жидкой фазы (двухфазной смеси), то есть до момента отсечения аварийного участка трубопровода и выброса из отсеченного участка трубопровода всей жидкой фазы, находящейся в нем выше уровня аварийного отверстия (разгерметизации).

После окончания выброса жидкой фазы из отсеченного участка трубопровода начинается истечение газовой фазы за счет наличия избыточного давления в нем, что возможно только в случае, если в трубопроводе находится перегретая жидкость. При этом на стадии истечения газовой фазы продолжается испарение пролива. В результате в атмосфере образуется вторичное облако, состоящее из газообразного ОВ, испарившегося с пролива, и из газообразного ОВ, поступающего из разрушенного трубопровода за счет наличия

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

избыточного давления в нем. Такое вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока будет существовать возможность выброса газовой фазы из трубопровода за счет избыточного давления в нем и испарения из пролива.

Если давление в отсеченном участке аварийного трубопровода становится равным атмосферному, то газовая фаза из разгерметизированного трубопровода перестает поступать в окружающую среду за счет избытка давления. Если пролив ОВ при этом еще не испарился, то в атмосфере образуется вторичное облако ОВ, состоящее из газообразного ОВ, испарившегося с пролива. Такое вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока будет существовать испарение ОВ из пролива.

Если испарился пролив, а давление в отсеченном участке аварийного трубопровода осталось выше атмосферного, то газовая фаза из разгерметизированного трубопровода продолжает поступать в окружающую среду за счет избыточного давления. При этом в атмосфере образуется вторичное облако, состоящее из газообразного ОВ, поступающего из отсеченного участка аварийного трубопровода за счет избыточного давления. Такое вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока будет существовать избыточное давление в отсеченном участке аварийного трубопровода.

Если пролив ОВ на месте аварии испарился и давление в отсеченном участке аварийного трубопровода стало равным атмосферному, то поступление ОВ в окружающую среду будет обусловлено лишь испарением ОВ с поверхности жидкости в трубопроводе. В атмосфере при этом образуется вторичное облако, состоящее из газообразного ОВ, поступающего из разгерметизированного трубопровода за счет испарения ОВ. Такое вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока не испарится все ОВ из трубопровода.

Возможно прекращение поступления ОВ в окружающую среду путем ликвидации аварийного отверстия и пролива в любой момент времени.

***Приложение № 6***
*к Руководству*

**Перечень данных, необходимых для проведения расчета по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ**

Для проведения расчетов по любому из четырех сценариев, приведенных в разделе III настоящего Руководства, рекомендуется иметь следующие данные:

тип местности, где происходит рассеяние выброса (необходим для определения $z_{пов}$ — характерного размера шероховатости подстилающей поверхности (табл. 7-3);

показатель степенной зависимости скорости ветра от высоты $\alpha_в$;

скорость ветра на высоте 10 м;

температура воздуха, плотность воздуха и удельная внутренняя энергия воздуха, атмосферное давление (при нормальных условиях принимается равным 101,325 кПа);

класс устойчивости атмосферы или уровень инсоляции и облачности (для определения класса устойчивости атмосферы);

температура поверхности, над которой происходит рассеяние выброса;

значения токсодоз и концентраций ОВ в воздухе, соответствующие тому или иному воздействию ОВ на человека, способ расчета пробит-функции токсического поражения человека;

индивидуальные характеристики ОВ в газовой и жидкой фазах (молярная масса, показатель адиабаты, температура кипения, теплота испарения (кипения), теплоемкость газовой и жидкой фаз, плотность жидкой фазы, значения НКПР и ВКПР для пожаровзрывоопасных веществ);

при наличии пролива в обвалование — площадь обвалования, ее высота и площадь возможного контакта жидкости с твердой поверхностью;

при наличии пролива вскипающей жидкости — характеристики подстилающей поверхности (плотность, теплоемкость, тепло-

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

проводность) и температура подстилающей поверхности (на месте пролива);

время экспозиции для человека, попадающего в область поражения.

Дополнительно для каждого сценария задаются следующие данные:

***Таблица 6-1***

**Дополнительные данные для каждого сценария**

| | |
|---|---|
| Сценарий 1 | $Q$, $V_1$, $T_1$ либо $Q$, $P_1$, $T_1$ либо $Q$, $P_1$, $V_1$ либо $V_1$, $P_1$, $T_1$ |
| Сценарий 2 | $Q$, $V_2$, $T_2$ либо $Q$, $P_2$, $T_2$ либо $Q$, $P_2$, $V_2$ либо $V_2$, $P_2$, $T_2$, $Q_{тр}$, $S$, $S_{тр}$, $q_{комп}$, $t_{ликвид}$ |
| Сценарий 3 | $P_3$, $T_3$, $Q^г$ либо $V_3$ и $\alpha$ |
| Сценарий 4 | $P_4$, $T_4$, $\rho_4$, $H$, $L$, $D_{тр}$, $q_{насос}$, $S$, $t_{ликвид}$, $t_{отс}$, $S_{обор}$, $Q^ж$, $Q^ж_H$, $Q^ж_{тр}$, $H^{отс}_{тр}$, $Q^ж{}_H{}_{тр}$, $Q^ж{}_{тр}{}_{отс}$, $Q^ж{}_H{}_{отс.\ тр}$ |

## Справочные данные по свойствам опасных веществ, связям вероятности поражения с пробит-функцией, характеристикам подстилающих поверхностей и состояния атмосферы

*Таблица 7-1*

### Свойства опасных веществ

| Вещество | Молярная масса μ, г/моль | Плотность газа $\rho_г$, кг/м³ | Плотность жидкости $\rho_ж$, кг/м³ | Температура кипения $T_{кип}$, °С | Теплоемкость газа $C_p$, кДж/кг/°С | Коэффициент $C_p/C_v$, γ | Пороговая токсодоза $PC_{50}$, мг·мин/л | Смертельная токсодоза $LC_{50}$, мг·мин/л | Теплота испарения $\Delta H_{исп}$, кДж/кг | Pr = $a$ + $b$ln($CnT$), где $C$ — ppm, T — мин | | | НКПР-ВКПР, % об. | Стехиометрическая концентрация, % об. | Теплоемкость жидкости $C_p$, кДж/кг/°С |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | $a$ | $b$ | $n$ | | | |
| Аммиак | 17,0 | 0,80 | 681 | −33,4 | 2,10 | 1,34 | 15,00 | 150,0 | 1360 | −35,90 | 1,850 | 2,00 | 16,0—25,0 | 22,0 | 4,59 |
| Фтористый водород | 20,4 | 0,92 | 989 | 19,4 | 1,42 | 1,30 | 4,00 | 40,0 | 1560 | −35,87 | 3,354 | 1,00 | — | — | 2,49 |
| Хлористый водород | 36,5 | 1,64 | 1191 | −85,1 | 0,80 | 1,41 | 2,00 | 20,0 | 300 | −16,85 | 2,000 | 1,00 | — | — | 1,75 |
| Бромистый водород | 80,9 | 3,50 | 1490 | −67,8 | 0,36 | 1,42 | 2,40 | 24,0 | 217 | −18,32 | 2,000 | 1,00 | — | — | 0,74 |
| Цианистый водород | 27,0 | 0,90 | 689 | 25,6 | 1,33 | 1,31 | 0,20 | 6,0 | 933 | −9,56 | 1,000 | 2,40 | 6,0–41,0 | 14,3 | 2,62 |
| Сероводород | 34,1 | 1,50 | 964 | −60,4 | 1,04 | 1,30 | 1,00 | 15,0 | 310 | −31,42 | 3,008 | 1,43 | 4,3–45,0 | 12,3 | 2,01 |
| Сероуглерод | 76,1 | 6,00 | 1263 | 46,2 | 0,67 | 1,24 | 30,00 | 500,0 | 352 | −46,62 | 4,200 | 1,00 | 1,3–50,0 | 6,5 | 1,00 |
| Формальдегид | 30,0 | 1,03 | 815 | −19,3 | 1,32 | 1,30 | 0,60 | 6,0 | 273 | −12,24 | 1,300 | 2,00 | 7,0–73,0 | 17,4 | 2,34 |





© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

| Вещество | Молярная масса μ, г/моль | Плотность газа $\rho_г$, кг/м³ | Плотность жидкости $\rho_ж$, кг/м³ | Температура кипения $T_{кип}$, °С | Теплоемкость газа $C_p$, кДж/кг/°С | Коэффициент $C_p/C_v$, γ | Пороговая токсодоза $PC_{50}$, мг·мин/л | Смертельная токсодоза $LC_{50}$, мг·мин/л | Теплота испарения $\Delta H_{исп}$, кДж/кг | Pr = $a$ + $b$ln($CnT$), где $C$ — ppm, T — мин | | | НКПР-ВКПР, % об. | Стехиометрическая концентрация, % об. | Теплоемкость жидкости $C_p$, кДж/кг/°С |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | $a$ | $b$ | $n$ | | | |
| Фосген | 98,9 | 3,48 | 1420 | 8,2 | 0,67 | 1,30 | 0,55 | 3,2 | 158 | —19,27 | 3,686 | 1,00 | — | — | 1,02 |
| Фтор | 38,0 | 1,70 | 1512 | —188,0 | 3,32 | 1,30 | 0,20 | 3,0 | 727 | —10,34 | 1,000 | 2,00 | — | — | 1,51 |
| Хлор | 70,9 | 3,20 | 1553 | —34,1 | 0,48 | 1,30 | 0,60 | 6,0 | 288 | —8,29 | 0,920 | 2,00 | — | — | 0,93 |
| Хлорциан | 61,5 | 2,52 | 1258 | 12,6 | 0,73 | 1,30 | 0,75 | 11,0 | 208 | — | — | — | — | — | 1,49 |
| Окись углерода | 28,0 | 0,97 | 1000 | —191,6 | 1,04 | 1,29 | 10,00 | 37,5 | 216 | —37,98 | 3,700 | 1,00 | 12,5–74,0 | 30,0 | 2,19 |
| Окись этилена | 44,0 | 1,70 | 882 | 10,7 | 1,72 | 1,30 | 2,20 | 25,0 | 320 | —6,21 | 1,000 | 1,00 | 3,0–100,0 | 7,8 | 2,00 |
| Метан | 16,0 | 0,68 | 161 | —162,0 | 1,77 | 1,42 | — | — | 514 | — | — | — | 5,0–16,0 | 9,5 | 4,16 |
| Пропан | 44,0 | 1,86 | 509 | —42,0 | 1,60 | 1,13 | — | — | 429 | — | — | — | 2,0–9,5 | 4,0 | 2,58 |
| Бутан | 58,0 | 2,46 | 584 | —0,5 | 1,60 | 1,10 | — | — | 388,4 | — | — | — | 1,5–9,0 | 3,1 | 2,46 |
| Пентан | 72,0 | 3,20 | 612 | 36,0 | 1,60 | 1,08 | — | — | 376 | — | — | — | 1,3–8,0 | 2,6 | 2,36 |
| Водород | 2,0 | 0,09 | 31,5 | —254,0 | 14,00 | 1,41 | — | — | 459 | — | — | — | 4,0–75,0 | 29,6 | 16,90 |
| Бутадиен | 54,0 | 2,30 | 628 | —4,5 | 1,40 | 1,12 | — | — | 416 | — | — | — | 2,0–11,5 | 3,7 | 2,10 |
| Бензол | 78,0 | 3,50 | 883 | 80,0 | 1,00 | 1,12 | 60,00 | 250,0 | 396 | —109,8 | 5,300 | 2,00 | 1,2–8,0 | 2,7 | 1,80 |
| Диметиламин | 45,0 | 1,95 | 661 | 7,0 | 1,50 | 1,14 | 1,00 | — | 591 | —7,34 | 2,000 | 1,00 | 2,8—14,0 | 5,3 | 3,00 |
| Этилен | 28,0 | 1,19 | 212 | —104,0 | 1,30 | 1,30 | — | — | 484 | — | — | — | 2,8—29,0 | 6,5 | 2,79 |
| Метиловый спирт | 32,0 | 1,36 | 809 | 64,0 | 1,30 | 1,24 | — | — | 120 | — | — | — | 6,0—36,5 | 12,2 | 2,50 |
| Акрилонитрил | 53,0 | 2,24 | 813 | 77,0 | 1,20 | 1,15 | — | — | 575 | —14,97 | 1,900 | 1,00 | 2,4—17,0 | 5,3 | 2,03 |
| Акролеин | 56,0 | 2,37 | 844 | 53,0 | 1,10 | 1,16 | 0,20 | — | 538 | —9,93 | 2,049 | 1,00 | 2,8—31,0 | 5,7 | 2,15 |
| Пропилен | 42,0 | 1,78 | 523 | —48,0 | 1,50 | 1,16 | — | — | 349 | — | — | — | 2,0—11,0 | 4,4 | 2,57 |
| Винилхлорид | 62,5 | 2,64 | 900 | —13,0 | 0,84 | 1,19 | — | — | 331 | — | — | — | 4,0—26,0 | 7,7 | 1,33 |

***Таблица 7-2***

**Связь вероятности поражения с пробит-функцией**

| *p*,% | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | | 2,67 | 2,95 | 3,12 | 3,25 | 3,38 | 3,45 | 3,52 | 3,59 | 3,66 |
| 10 | 3,72 | 3,77 | 3,82 | 3,86 | 3,92 | 3,96 | 4,01 | 4,05 | 4,08 | 4,12 |
| 20 | 4,16 | 4,19 | 4,23 | 4,26 | 4,29 | 4,33 | 4,36 | 4,39 | 4,42 | 4,45 |
| 30 | 4,48 | 4,50 | 4,53 | 4,56 | 4,59 | 4,61 | 4,64 | 4,67 | 4,69 | 4,72 |
| 40 | 4,75 | 4,77 | 4,80 | 4,82 | 4,85 | 4,87 | 4,90 | 4,92 | 4,95 | 4,97 |
| 50 | 5,00 | 5,03 | 5,05 | 5,08 | 5,10 | 5,13 | 5,15 | 5,18 | 5,20 | 5,23 |
| 60 | 5,25 | 5,28 | 5,31 | 5,33 | 5,36 | 5,39 | 5,41 | 5,44 | 5,47 | 5,50 |
| 70 | 5,52 | 5,55 | 5,58 | 5,61 | 5,64 | 5,67 | 5,71 | 5,74 | 5,77 | 5,81 |
| 80 | 5,84 | 5,88 | 5,92 | 5,95 | 5,99 | 6,04 | 6,08 | 6,13 | 6,18 | 6,23 |
| 90 | 6,28 | 6,34 | 6,41 | 6,48 | 6,55 | 6,64 | 6,75 | 6,88 | 7,05 | 7,33 |
| 99 | 7,33 | 7,37 | 7,41 | 7,46 | 7,51 | 7,58 | 7,65 | 7,75 | 7,88 | 8,09 |

***Таблица 7-3***

**Характерный размер шероховатости поверхности $z_{пов}$ в зависимости от типа местности, где происходит рассеяние**

| Характерный размер шероховатости поверхности $z_{пов}$, м | Местность | |
|---|---|---|
| | Природный ландшафт | Антропогенный ландшафт |
| $1{,}00 \cdot 10^{-5}$ | Лед, равнина, покрытая грязью | |
| $9{,}00 \cdot 10^{-5}$ | Равнины, покрытые снегом, или укатанный грунт | |
| $1{,}00 \cdot 10^{-4}$ | Поверхность открытого моря при штиле | |
| $1{,}00 \cdot 10^{-4}$–$1{,}00 \cdot 10^{-3}$ | Обширные водные поверхности | |
| $5{,}00 \cdot 10^{-4}$ | Ровная поверхность пустыни | |

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

| Характерный размер шероховатости поверхности $z_{пов}$, м | Местность | |
|---|---|---|
| | Природный ландшафт | Антропогенный ландшафт |
| $9{,}00 \cdot 10^{-4}$ | Поверхность моря в прибрежной зоне при ветре с моря | |
| $2{,}00 \cdot 10^{-3}$ | Снежная целина (с/х угодья) | |
| Характерный размер шероховатости поверхности $z_{пов}$, м | Местность | |
| | Природный ландшафт | Антропогенный ландшафт |
| $7{,}50 \cdot 10^{-3}$ | Равнинная местность: скошенная трава (≈30 см) | Равнинная местность, сельскохозяйственные угодья |
| $1{,}00 \cdot 10^{-2}$ | Равнинная местность: трава, редкие деревья (зима, без листьев) | |
| $2{,}20 \cdot 10^{-2}$ | Равнинная местность: некошеная трава | |
| $2{,}50 \cdot 10^{-2}$ | Равнинная местность: одиночные деревья | Аэропортное поле |
| $5{,}00 \cdot 10^{-2}$ | Равнинная местность: высокая трава (60 см) | Сельскохозяйственные угодья: неубранные посевы зерновых |
| $5{,}50 \cdot 10^{-2}$ | Равнинная местность: редкие деревья (лето) | |
| $8{,}50 \cdot 10^{-2}$ | Холмистая местность | |
| 0,15–0,30 | Деревья | Большое количество заборов, изгородей, редкие здания |
| 0,40 | Лесистая местность | Окраины города* |
| 0,55 | | Центры малых городов* |

* Неоднородный рельеф местности.

| Характерный размер шероховатости поверхности $z_{пов}$, м | Местность | |
|---|---|---|
| | Природный ландшафт | Антропогенный ландшафт |
| 0,65 | | Центры больших поселений и городов* |
| 0,90 | Леса | |
| 1,30 | | |
| 1,35 | | Центры больших городов, районы с высотными зданиями* |
| 2,00 | Крайне холмистая и гористая местность* | |
| 3,00 | | |

* Неоднородный рельеф местности.

***Таблица 7-4***

## Класс устойчивости атмосферы (модифицированные классы устойчивости по Паскуилу)

| Скорость ветра, м/с | День[1] | | | | Сумерки[2] | Ночь | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Интенсивность солнечного излучения (Вт/м²) | | | | | Уровень облачности (восьмые доли) | | |
| | сильная (>600) | умеренная (300–600) | слабая (<300) | сплошная облачность | | 0–3 | 4–7 | 8 |
| ≤2 | A | A-B | B | C | D | F | F | D |
| 2–3 | A–B | B | C | C | D | F | E | D |
| 3–5 | B | B–C | C | C | D | E | D | D |
| 5–6 | C | C–D | D | D | D | D | D | D |
| ≥6 | C | D | D | D | D | D | D | D |

[1] Период времени, за исключением 1 часа после восхода солнца и 1 часа до заката.

[2] Сумерки включают в себя 1 час после восхода солнца и 1 час до заката.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

*Таблица 7-5*

**Величина коэффициента $\alpha_в$ в зависимости от класса устойчивости атмосферы для различных характерных размеров шероховатости**

| Характерный размер шероховатости $z_{пов}$, м | Класс устойчивости атмосферы | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F |
| $10^{-5}$ | 0,05/ 0,05/ 0,03 | 0,05/ 0,05/ 0,03 | 0,05/ 0,04/ 0,03 | 0,08/ 0,08/ 0,07 | 0,43/ 0,7/ 0,8 | 0,44/ 0,71/ 0,81 |
| $2 \cdot 10^{-5}$ | 0,05/ 0,05/ 0,03 | 0,05/ 0,05/ 0,03 | 0,06/ 0,05/ 0,04 | 0,09/ 0,09/ 0,08 | 0,39/ 0,67/ 0,78 | 0,43/ 0,7/ 0,8 |
| $3 \cdot 10^{-5}$ | 0,06/ 0,04/ 0,04 | 0,06/ 0,05/ 0,04 | 0,06/ 0,05/ 0,04 | 0,09/ 0,09/ 0,08 | 0,37/ 0,65/ 0,77 | 0,42/ 0,69/ 0,8 |
| $4 \cdot 10^{-5}$ | 0,06/ 0,05/ 0,04 | 0,06/ 0,06/ 0,04 | 0,06/ 0,06/ 0,04 | 0,09/ 0,09/ 0,08 | 0,36/ 0,63/ 0,75 | 0,42/ 0,69/ 0,79 |
| $5 \cdot 10^{-5}$ | 0,06/ 0,06/ 0,04 | 0,06/ 0,06/ 0,04 | 0,06/ 0,06/ 0,04 | 0,1/ 0,09/ 0,08 | 0,35/ 0,62/ 0,75 | 0,41/ 0,68/ 0,79 |
| $6 \cdot 10^{-5}$ | 0,06/ 0,06/ 0,04 | 0,06/ 0,06/ 0,04 | 0,07/ 0,06/ 0,04 | 0,10/ 0,09/ 0,08 | 0,35/ 0,61/ 0,74 | 0,41/ 0,68/ 0,79 |
| $7 \cdot 10^{-5}$ | 0,06/ 0,06/ 0,04 | 0,06/ 0,06/ 0,04 | 0,07/ 0,06/ 0,04 | 0,10/ 0,09/ 0,08 | 0,34/ 0,60/ 0,73 | 0,41/ 0,68/ 0,79 |
| $8 \cdot 10^{-5}$ | 0,06/ 0,06/ 0,04 | 0,06/ 0,05/ 0,04 | 0,07/ 0,06/ 0,04 | 0,10/ 0,10/ 0,09 | 0,34/ 0,60/ 0,73 | 0,41/ 0,67/ 0,78 |
| $9 \cdot 10^{-5}$ | 0,06/ 0,06/ 0,04 | 0,07/ 0,06/ 0,04 | 0,07/ 0,05/ 0,04 | 0,10/ 0,10/ 0,09 | 0,33/ 0,59/ 0,72 | 0,41/ 0,67/ 0,78 |
| $1 \cdot 10^{-4}$ | 0,07/ 0,05/ 0,04 | 0,07/ 0,06/ 0,04 | 0,07/ 0,07/ 0,04 | 0,10/ 0,10/ 0,09 | 0,33/ 0,58/ 0,72 | 0,41/ 0,67/ 0,78 |

| Характерный размер шероховатости $z_{пов}$, м | Класс устойчивости атмосферы | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F |
| $2 \cdot 10^{-4}$ | 0,07/<br>0,07/<br>0,04 | 0,07/<br>0,07/<br>0,04 | 0,08/<br>0,07/<br>0,05 | 0,11/<br>0,11/<br>0,09 | 0,31/<br>0,55/<br>0,69 | 0,40/<br>0,66/<br>0,77 |
| $3 \cdot 10^{-4}$ | 0,08/<br>0,07/<br>0,04 | 0,08/<br>0,07/<br>0,05 | 0,07/<br>0,08/<br>0,05 | 0,11/<br>0,11/<br>0,1 | 0,30/<br>0,53/<br>0,68 | 0,40/<br>0,65/<br>0,77 |
| $4 \cdot 10^{-4}$ | 0,08/<br>0,06/<br>0,05 | 0,08/<br>0,07/<br>0,05 | 0,09/<br>0,08/<br>0,05 | 0,12/<br>0,11/<br>0,10 | 0,29/<br>0,51/<br>0,67 | 0,40/<br>0,65/<br>0,76 |
| $5 \cdot 10^{-4}$ | 0,08/<br>0,07/<br>0,05 | 0,08/<br>0,06/<br>0,05 | 0,09/<br>0,08/<br>0,05 | 0,12/<br>0,12/<br>0,10 | 0,29/<br>0,50/<br>0,66 | 0,40/<br>0,65/<br>0,76 |
| $6 \cdot 10^{-4}$ | 0,08/<br>0,08/<br>0,05 | 0,08/<br>0,08/<br>0,05 | 0,09/<br>0,08/<br>0,06 | 0,12/<br>0,12/<br>0,10 | 0,29/<br>0,49/<br>0,65 | 0,40/<br>0,64/<br>0,76 |
| $7 \cdot 10^{-4}$ | 0,08/<br>0,06/<br>0,05 | 0,09/<br>0,09/<br>0,05 | 0,10/<br>0,09/<br>0,06 | 0,13/<br>0,12/<br>0,10 | 0,29/<br>0,49/<br>0,65 | 0,40/<br>0,64/<br>0,76 |
| $8 \cdot 10^{-4}$ | 0,08/<br>0,08/<br>0,05 | 0,09/<br>0,08/<br>0,05 | 0,10/<br>0,08/<br>0,06 | 0,13/<br>0,12/<br>0,10 | 0,28/<br>0,48/<br>0,64 | 0,40/<br>0,64/<br>0,76 |
| $9 \cdot 10^{-4}$ | 0,09/<br>0,08/<br>0,05 | 0,09/<br>0,08/<br>0,05 | 0,10/<br>0,09/<br>0,06 | 0,13/<br>0,12/<br>0,11 | 0,29/<br>0,48/<br>0,64 | 0,40/<br>0,64/<br>0,76 |
| $1 \cdot 10^{-3}$ | 0,09/<br>0,09/<br>0,05 | 0,09/<br>0,09/<br>0,05 | 0,10/<br>0,09/<br>0,06 | 0,13/<br>0,13/<br>0,11 | 0,28/<br>0,47/<br>0,63 | 0,40/<br>0,64/<br>0,76 |
| $2 \cdot 10^{-3}$ | 0,10/<br>0,09/<br>0,06 | 0,11/<br>0,09/<br>0,06 | 0,11/<br>0,10/<br>0,07 | 0,15/<br>0,14/<br>0,12 | 0,28/<br>0,45/<br>0,61 | 0,40/<br>0,63/<br>0,75 |
| $3 \cdot 10^{-3}$ | 0,11/<br>0,10/<br>0,06 | 0,11/<br>0,10/<br>0,06 | 0,12/<br>0,10/<br>0,07 | 0,15/<br>0,14/<br>0,12 | 0,28/<br>0,43/<br>0,59 | 0,41/<br>0,63/<br>0,75 |

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

| Характерный размер шероховатости $z_{пов}$, м | Класс устойчивости атмосферы | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F |
| $4 \cdot 10^{-3}$ | 0,11/<br>0,10/<br>0,06 | 0,12/<br>0,11/<br>0,07 | 0,13/<br>0,12/<br>0,08 | 0,16/<br>0,15/<br>0,12 | 0,28/<br>0,42/<br>0,58 | 0,41/<br>0,63/<br>0,74 |
| $5 \cdot 10^{-3}$ | 0,12/<br>0,11/<br>0,07 | 0,12/<br>0,10/<br>0,07 | 0,14/<br>0,12/<br>0,08 | 0,17/<br>0,15/<br>0,13 | 0,28/<br>0,42/<br>0,58 | 0,42/<br>0,63/<br>0,74 |
| $6 \cdot 10^{-3}$ | 0,12/<br>0,11/<br>0,07 | 0,13/<br>0,11/<br>0,07 | 0,14/<br>0,12/<br>0,08 | 0,17/<br>0,16/<br>0,13 | 0,29/<br>0,41/<br>0,57 | 0,42/<br>0,63/<br>0,74 |
| $7 \cdot 10^{-3}$ | 0,13/<br>0,11/<br>0,07 | 0,13/<br>0,12/<br>0,07 | 0,14/<br>0,13/<br>0,08 | 0,17/<br>0,16/<br>0,13 | 0,29/<br>0,41/<br>0,57 | 0,42/<br>0,63/<br>0,74 |
| $8 \cdot 10^{-3}$ | 0,14/<br>0,11/<br>0,07 | 0,14/<br>0,11/<br>0,08 | 0,15/<br>0,14/<br>0,09 | 0,18/<br>0,16/<br>0,13 | 0,29/<br>0,41/<br>0,56 | 0,42/<br>0,63/<br>0,74 |
| $9 \cdot 10^{-3}$ | 0,13/<br>0,12/<br>0,07 | 0,14/<br>0,12/<br>0,08 | 0,15/<br>0,13/<br>0,09 | 0,18/<br>0,17/<br>0,14 | 0,29/<br>0,41/<br>0,56 | 0,42/<br>0,63/<br>0,74 |
| $1 \cdot 10^{-2}$ | 0,13/<br>0,12/<br>0,07 | 0,16/<br>0,13/<br>0,08 | 0,16/<br>0,14/<br>0,09 | 0,19/<br>0,17/<br>0,14 | 0,29/<br>0,41/<br>0,56 | 0,43/<br>0,63/<br>0,74 |
| $2 \cdot 10^{-2}$ | 0,15/<br>0,11/<br>0,08 | 0,16/<br>0,14/<br>0,09 | 0,18/<br>0,15/<br>0,1 | 0,21/<br>0,19/<br>0,15 | 0,31/<br>0,40/<br>0,54 | 0,45/<br>0,63/<br>0,74 |
| $3 \cdot 10^{-2}$ | 0,17/<br>0,16/<br>0,09 | 0,18/<br>0,17/<br>0,10 | 0,20/<br>0,17/<br>0,11 | 0,22/<br>0,20/<br>0,16 | 0,32/<br>0,40/<br>0,53 | 0,46/<br>0,64/<br>0,74 |
| $4 \cdot 10^{-2}$ | 0,18/<br>0,13/<br>0,10 | 0,19/<br>0,16/<br>0,10 | 0,21/<br>0,16/<br>0,12 | 0,24/<br>0,21/<br>0,17 | 0,33/<br>0,40/<br>0,53 | 0,48/<br>0,64/<br>0,74 |
| $5 \cdot 10^{-2}$ | 0,19/<br>0,16/<br>0,10 | 0,20/<br>0,17/<br>0,11 | 0,22/<br>0,18/<br>0,13 | 0,25/<br>0,21/<br>0,17 | 0,34/<br>0,40/<br>0,52 | 0,49/<br>0,64/<br>0,74 |

| Характерный размер шероховатости $z_{пов}$, м | Класс устойчивости атмосферы | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F |
| $6 \cdot 10^{-2}$ | 0,20/<br>0,17/<br>0,11 | 0,21/<br>0,17/<br>0,11 | 0,23/<br>0,19/<br>0,13 | 0,26/<br>0,22/<br>0,17 | 0,34/<br>0,41/<br>0,52 | 0,5/<br>0,65/<br>0,74 |
| $7 \cdot 10^{-2}$ | 0,21/<br>0,17/<br>0,11 | 0,22/<br>0,18/<br>0,12 | 0,25/<br>0,21/<br>0,14 | 0,26/<br>0,23/<br>0,18 | 0,35/<br>0,41/<br>0,52 | 0,50/<br>0,65/<br>0,75 |
| $8 \cdot 10^{-2}$ | 0,21/<br>0,18/<br>0,11 | 0,22/<br>0,18/<br>0,12 | 0,24/<br>0,2/<br>0,14 | 0,27/<br>0,23/<br>0,18 | 0,36/<br>0,41/<br>0,52 | 0,51/<br>0,65/<br>0,75 |
| $9 \cdot 10^{-2}$ | 0,22/<br>0,18/<br>0,12 | 0,23/<br>0,19/<br>0,13 | 0,25/<br>0,22/<br>0,14 | 0,28/<br>0,24/<br>0,19 | 0,36/<br>0,41/<br>0,52 | 0,52/<br>0,65/<br>0,75 |
| $1 \cdot 10^{-1}$ | 0,23/<br>0,19/<br>0,12 | 0,24/<br>0,20/<br>0,13 | 0,26/<br>0,21/<br>0,15 | 0,28/<br>0,24/<br>0,19 | 0,37/<br>0,41/<br>0,52 | 0,52/<br>0,66/<br>0,75 |
| $2 \cdot 10^{-1}$ | 0,30/<br>0,22/<br>0,15 | 0,28/<br>0,25/<br>0,16 | 0,3/<br>0,24/<br>0,18 | 0,32/<br>0,27/<br>0,21 | 0,41/<br>0,43/<br>0,52 | 0,57/<br>0,68/<br>0,76 |
| $3 \cdot 10^{-1}$ | 0,30/<br>0,24/<br>0,17 | 0,31/<br>0,25/<br>0,18 | 0,34/<br>0,26/<br>0,2 | 0,35/<br>0,29/<br>0,23 | 0,44/<br>0,45/<br>0,52 | 0,60/<br>0,69/<br>0,77 |
| $4 \cdot 10^{-1}$ | 0,33/<br>0,27/<br>0,19 | 0,34/<br>0,26/<br>0,19 | 0,36/<br>0,28/<br>0,22 | 0,37/<br>0,30/<br>0,24 | 0,47/<br>0,46/<br>0,52 | 0,63/<br>0,70/<br>0,77 |
| $5 \cdot 10^{-1}$ | 0,35/<br>0,27/<br>0,21 | 0,36/<br>0,27/<br>0,21 | 0,38/<br>0,29/<br>0,23 | 0,39/<br>0,31/<br>0,25 | 0,49/<br>0,47/<br>0,53 | 0,65/<br>0,71/<br>0,78 |
| $6 \cdot 10^{-1}$ | 0,38/<br>0,28/<br>0,22 | 0,37/<br>0,28/<br>0,22 | 0,40/<br>0,30/<br>0,21 | 0,40/<br>0,32/<br>0,26 | 0,50/<br>0,48/<br>0,53 | 0,66/<br>0,72/<br>0,78 |
| $7 \cdot 10^{-1}$ | 0,39/<br>0,34/<br>0,24 | 0,39/<br>0,29/<br>0,23 | 0,41/<br>0,31/<br>0,22 | 0,42/<br>0,33/<br>0,27 | 0,52/<br>0,49/<br>0,54 | 0,68/<br>0,73/<br>0,79 |

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

| Характерный размер шероховатости $z_{пов}$, м | Класс устойчивости атмосферы | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F |
| $8 \cdot 10^{-1}$ | 0,41/<br>0,31/<br>0,25 | 0,40/<br>0,30/<br>0,25 | 0,43/<br>0,32/<br>0,22 | 0,43/<br>0,34/<br>0,28 | 0,53/<br>0,50/<br>0,54 | 0,69/<br>0,74/<br>0,79 |
| $9 \cdot 10^{-1}$ | 0,43/<br>0,32/<br>0,22 | 0,42/<br>0,31/<br>0,22 | 0,44/<br>0,32/<br>0,23 | 0,43/<br>0,34/<br>0,28 | 0,54/<br>0,51/<br>0,55 | 0,70/<br>0,74/<br>0,80 |
| 1 | 0,45/<br>0,33/<br>0,23 | 0,43/<br>0,32/<br>0,22 | 0,45/<br>0,33/<br>0,24 | 0,44/<br>0,35/<br>0,29 | 0,55/<br>0,51/<br>0,55 | 0,71/<br>0,75/<br>0,80 |
| 2 | 0,63/<br>0,45/<br>0,33 | 0,53/<br>0,38/<br>0,28 | 0,53/<br>0,39/<br>0,28 | 0,49/<br>0,40/<br>0,34 | 0,63/<br>0,57/<br>0,59 | 0,78/<br>0,79/<br>0,83 |
| 3 | 0,92/<br>0,62/<br>0,47 | 0,60/<br>0,44/<br>0,33 | 0,58/<br>0,43/<br>0,32 | 0,52/<br>0,44/<br>0,38 | 0,68/<br>0,61/<br>0,62 | 0,82/<br>0,82/<br>0,85 |
| 4 | 1,04/<br>1,03/<br>0,74 | 0,67/<br>0,50/<br>0,39 | 0,61/<br>0,46/<br>0,35 | 0,54/<br>0,47/<br>0,41 | 0,71/<br>0,64/<br>0,64 | 0,85/<br>0,84/<br>0,87 |
| 5 | 0,00/<br>0,00/<br>0,00 | 0,76/<br>0,57/<br>0,45 | 0,64/<br>0,48/<br>0,38 | 0,56/<br>0,50/<br>0,43 | 0,74/<br>0,66/<br>0,66 | 0,87/<br>0,86/<br>0,88 |
| 6 | 0,06/<br>0,00/<br>0,00 | 0,86/<br>0,65/<br>0,51 | 0,67/<br>0,51/<br>0,40 | 0,58/<br>0,53/<br>0,46 | 0,76/<br>0,69/<br>0,68 | 0,89/<br>0,87/<br>0,89 |
| 7 | 0,17/<br>0,10/<br>0,01 | 1,00/<br>0,76/<br>0,59 | 0,69/<br>0,53/<br>0,42 | 0,60/<br>0,55/<br>0,48 | 0,78/<br>0,71/<br>0,69 | 0,90/<br>0,89/<br>0,90 |
| 8 | 0,23/<br>0,10/<br>0,01 | 1,04/<br>0,90/<br>0,69 | 0,70/<br>0,55/<br>0,44 | 0,62/<br>0,57/<br>0,49 | 0,80/<br>0,72/<br>0,71 | 0,91/<br>0,90/<br>0,90 |
| 9 | 0,27/<br>0,13/<br>0,01 | 1,04/<br>1,04/<br>0,84 | 0,72/<br>0,57/<br>0,46 | 0,63/<br>0,59/<br>0,51 | 0,81/<br>0,74/<br>0,72 | 0,92/<br>0,90/<br>0,91 |

| Характерный размер шероховатости $z_{пов}$, м | Класс устойчивости атмосферы | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F |
| 10 | 0,30/<br>0,19/<br>0,01 | 1,04/<br>1,04/<br>1,04 | 0,73/<br>0,58/<br>0,47 | 0,65/<br>0,60/<br>0,52 | 0,82/<br>0,75/<br>0,73 | 0,93/<br>0,91/<br>0,92 |

***Примечание.*** Приведены значения коэффициента для трех высот распространения выброса до 20 м, до 50 м, свыше 50 м.

***Таблица 7-6***

**Величины коэффициентов *kL* и *p* для вычисления масштаба Монина—Обухова**

| Класс устойчивости | A | B | C | E | F |
|---|---|---|---|---|---|
| $k_L$ | −11,4 | −26,0 | −123,0 | 123,0 | 26,0 |
| $p$ | 0,10 | 0,17 | 0,30 | 0,30 | 0,17 |

***Таблица 7-7***

**Значения коэффициента $\delta_{600}$ при различной устойчивости атмосферы**

| Класс устойчивости | A | B | C | D | E | F |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta_{600}$ | 0,22 | 0,16 | 0,11 | 0,08 | 0,06 | 0,04 |

***Таблица № 7-8***

**Значения характеристик подстилающих поверхностей**

| Тип поверхности | $\rho_п$, кг/м$^3$ | $\lambda_п$, Вт/м/К | $c_п$, Дж/кг/К |
|---|---|---|---|
| Асбест | 2400 | 0,35 | 800 |
| Асбестоцемент | 1600 | 1,76 | 960 |
| Асфальт | 1100 | 0,72 | 920 |
| Бетон на каменном щебне | 2300 | 1,3 | 1000 |
| Лед | 920 | 2,23 | 2080 |
| Песок | 1380 | 0,97 | 840 |
| Металлические поддоны | | | |
| Медь | 8960 | 380 | 380 |
| Сталь | 8000 | 52 | 500 |
| Чугун | 7600 | 56 | 550 |

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

***Приложение № 8***
*к Руководству*

**Рекомендации по определению параметров смеси опасного вещества с воздухом в облаке**

При определении состояния смеси ОВ с воздухом предполагается, что в воздухе нет паров и капель воды. ОВ в облаке может находиться как в газовой, так и в жидкой фазе. Химические реакции между опасным веществом и компонентами воздуха, образование растворов газовой фазы одного вещества в жидкой фазе (в каплях) другого вещества не учитываются.

Предполагается, что объем, занимаемый жидкой фазой, незначителен, при расчетах он полагается равным нулю.

Определение состояния смеси ОВ с воздухом в облаке проводится для каждой рассматриваемой точки пространства.

Исходными данными для проведения расчета являются:

общая масса (расход) (в газообразной и жидкой фазе) ОВ в облаке ($Q_i$ — для первичного облака и $q_i^l$ — для вторичных облаков);

масса (расход) жидкой фазы в облаке в начальный момент времени ($Q_{жi}^0$ — для первичного облака и $q_{жi}^{0l}$ — для вторичных облаков);

общая масса (расход) облака ($Q_{сумi}$ — для первичного облака и $q_{сумi}^l$ — для вторичных облаков);

полная внутренняя энергия (удельный поток внутренней энергии) смеси вещества в облаке ($E_{эффi}$ — для первичного облака и $e_{эффi}^l$ — для вторичных облаков);

геометрические характеристики облаков (радиус и высота — для первичного облака, полуширина и высота — для вторичных облаков).

Кроме того, необходимы данные об окружающей среде и физические характеристики воздуха и ОВ.

Перечисленные исходные данные получаются в результате решения уравнений (101)–(104), (107)–(113) для первичного облака или (118)–(121), (124)–(131) для вторичных облаков. В результате определения состояния смеси ОВ и воздуха в облаке получаются:

плотность смеси ($\rho_{эффi}$ — для первичного облака или $\rho^{l}_{эффi}$ — для вторичных облаков);

температура смеси ($T_{эффi}$ — для первичного облака или $T^{l}_{эффi}$ — для вторичных облаков);

масса (расход) ОВ в жидкой фазе ($Q_{жi}$ — для первичного облака или $q^{l}_{жi}$ — для вторичных облаков);

изменение геометрического размера облака — эффективная высота ($H_{эффi}$ — для первичного облака или $H^{l}_{эффi}$ — для вторичных облаков).

Далее приводятся формулы для расчета состояния смеси в первичном облаке, для вторичных облаков все приведенные ниже формулы справедливы при замене соответствующих переменных, описывающих состояние в первичном облаке, на переменные, описывающие состояния во вторичных облаках, а именно: $Q_{жi}$ на $q^{l}_{жi}$, $Q_i$ на $q^{l}_i$, $Q^0_{жi}$ на $q^{0l}_{жi}$, $Q_{суммi}$ на $q^{l}_{сумi}$, $T_{эффi}$ на $T^{l}_{эффi}$, $\mu_{эффi}$ на $\mu^{l}_{эффi}$, $V_{эффi}$ на $V^{l}_{эффi}$, $\rho_{эффi}$ на $\rho^{l}_{эффi}$.

Состояние в облаке определяется из условия совпадения энергии системы и ее плотности, распределенной в объеме, с энергией облака и массой облака при давлении $P_0$=101,325 кПа.

В случае наличия в начальный момент времени перегретой жидкой фазы ($Q^0_{жi} > 0$) и $T_{возд} > T_{кип}$ сначала определяется количество жидкой фазы ОВ в облаке:

$$Q_{жi} = \frac{\left(Q_i - Q^0_{жi}\right)C_v T^0_i + Q^0_{жi} C_p T^0_i - \Delta H_{кип} Q^0_{жi}}{C_p T_{кип} - C_v T_{кип} - \Delta H_{кип}} +$$

$$+ \frac{\left(Q_{сумi} - Q_i\right)C_{vвозд}\left(T_{возд} - T_{кип}\right) - Q_i C_v T_{кип}}{C_p T_{кип} - C_v T_{кип} - \Delta H_{кип}}. \qquad (145)$$

Если величина $Q_{жi} > 0$, то это означает, что в облаке находится капельная взвесь массой $Q_{жi}$, тогда температура в облаке $T_{эффi}$ полагается равной $T_{кип}$.

Плотность (удельный объем) в облаке определяется по соотношениям:

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$$\mu_{эффi} = \frac{\left(Q_{сумi} - Q_{жi}\right)\mu_{возд}\,\mu}{\left(Q_i - Q_{жi}\right)\mu_{возд} + \left(Q_{сумi} - Q_i\right)\mu}, \quad (146)$$

$$\rho_{эффi} = \frac{P_0\,\mu_{эффi}}{T_{эффi}R} + c_{пi} - \frac{P_0\,\mu}{T_{эффi}R}, \quad (147)$$

$$V_{эффi} = \frac{1}{\rho_{эффi}}. \quad (148)$$

Если величина $Q_{жi} \le 0$, то это означает, что в облаке находится только газовая смесь и массу капельной взвеси $Q_{жi}$ рекомендуется полагать равной 0.

Температура в облаке в этом случае, а также в случае изначального отсутствия жидкой фазы в облаке определяется из соотношения

$$T_{эффi} = \frac{\left(Q_i - Q^0_{ж}\right)C_v T^0_i + Q^0_{ж} C_p T^0_i - \Delta H_{кип} Q^0_{ж} + \left(Q_{сумi} - Q_i\right)C_{vвозд} T_{возд}}{\left(Q_{сумi} - Q_i\right)C_{vвозд} + Q_i C_v}; \quad (149)$$

плотность (удельный объем) в облаке определяется по соотношениям:

$$\mu_{эффi} = \frac{Q_{сумi}\,\mu\mu_{возд}}{Q_i\,\mu_{возд} + \left(Q_{сумi} - Q_i\right)\mu}, \quad (150)$$

$$\rho_{эффi} = \frac{P_0\,\mu_{эффi}}{T_{эффi}R}, \quad (151)$$

$$V_{эффi} = \frac{1}{\rho_{эффi}}. \quad (152)$$

В случае наличия в начальный момент времени перегретой жидкой фазы ($Q^0_{жi} > 0$) и $T_{возд} < T_{кип}$ количество жидкой фазы в облаке предполагается постоянным и равным $Q^0_{жi}$.

Температура в облаке в этом случае определяется из соотношения

$$T_{\text{эффi}} = \frac{\left(Q_i - Q^0_{\text{ж}i}\right) C_{vi} T_i^0 + Q^0_{\text{ж}i} C_p T_{\text{кип}} + \left(Q_{\text{сум}i} - Q_i\right) C_{\text{увозд}} T_{\text{возд}}}{Q^0_{\text{ж}i} C_p + \left(Q_i - Q^0_{\text{ж}i}\right) C_{vi} + \left(Q_{\text{сум}i} - Q_i\right) C_{\text{увозд}}}. \quad (153)$$

После определения состояния в облаке производится определение геометрических размеров, изменение которых произошло за счет испарения жидкой фазы, а также за счет нагрева (охлаждения) газовой фазы при смешении с воздухом.

Примеры расчетов последствий аварий с выбросом ОВ при рассматриваемых выше условиях приведены в приложении № 9 к настоящему Руководству.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

***Приложение № 9***
*к Руководству*

**Примеры расчетов последствий выбросов опасных веществ**

Расчеты проводятся в соответствии со схемой, приведенной в приложении № 10 к настоящему Руководству.

**Пример 1.** В опорожненном шаровом резервуаре вместимостью 2000 м$^3$ находится хлорметан в газовой фазе при температуре окружающей среды (18 °С) и давлении 1 атм. Резервуар расположен на товарно-сырьевой базе в равнинной местности, характерный размер шероховатости 0,018 м. Происходит разрушение емкости и выбрасывается все опасное вещество. Метеоусловия: скорость ветра на высоте 10 м — 3,2 м/с, безоблачная ночь.

Определить максимальные приземные концентрации хлорметана в атмосфере, размеры взрывопожароопасного облака смеси хлорметана с воздухом при его рассеянии до концентрации, соответствующей нижнему концентрационному пределу воспламенения и его половине, а также зависимость площади, покрываемой облаком, от времени.

**Решение:**

1. При решении используем следующие характеристики хлорметана:

молярная масса — 51 г/моль;

показатель адиабаты — 1,25;

температура кипения жидкой фазы при давлении окружающей среды (101325 Па) — 24 °С;

теплота испарения жидкой фазы — $3{,}87 \cdot 10^6$ Дж/кг;

теплоемкость жидкой фазы — $C_p = 1585$ Дж/кг/К;

плотность жидкой фазы — 930 кг/м$^3$;

НКПР – 8,1%.

2. По условиям хранения и характеру разрушения определяем тип сценария аварийной ситуации — 1.

3. По формулам (1) и (2) определяем количество хлорметана в первичном облаке $Q_1 = 4272$ кг.

4. По формуле (6) с использованием формулы (2) определяем плотность ОВ в выбросе — 2,13 кг/м$^3$.

5. Учитывая, что хлорметан находится в сферической емкости, начальный диаметр первичного облака полагается равным его высоте. Они соответственно равны 13,6 м.

6. Характерный размер шероховатости принимается из исходных данных $z_{пов}$=0,018 м.

7. С использованием данных табл. 7-4 определяем класс устойчивости атмосферы — Е.

8. С использованием данных табл. 7-5–7-7 определяем коэффициенты, используемые при расчете дисперсии, скорости подмешивания воздуха в облако.

9. Для определения концентрации хлорметана в атмосфере (по формулам (105)–(106)) численно решаем систему обыкновенных дифференциальных уравнений (формулы (107)–(115)) с использованием уравнений (101)–(104).

Результаты расчета приведены на рис. 9-1.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

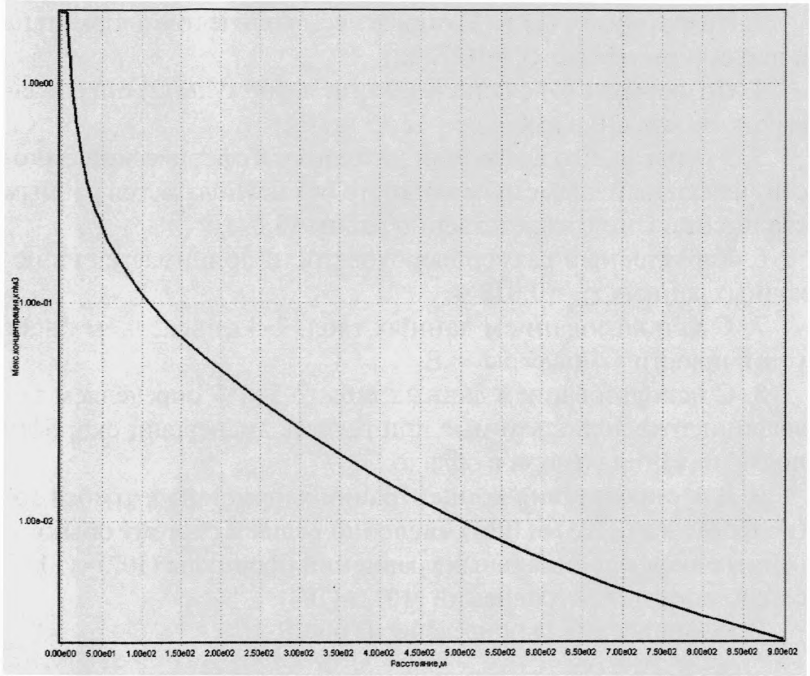


**Рис. 9-1.** Максимальная приземная концентрация на оси облака (по направлению ветра) при выбросе хлорметана (пример 1)

10. С помощью соотношений (139)–(143) определяем размеры взрывопожароопасного облака смеси хлорметана с воздухом при его рассеянии (рис. 9-2).

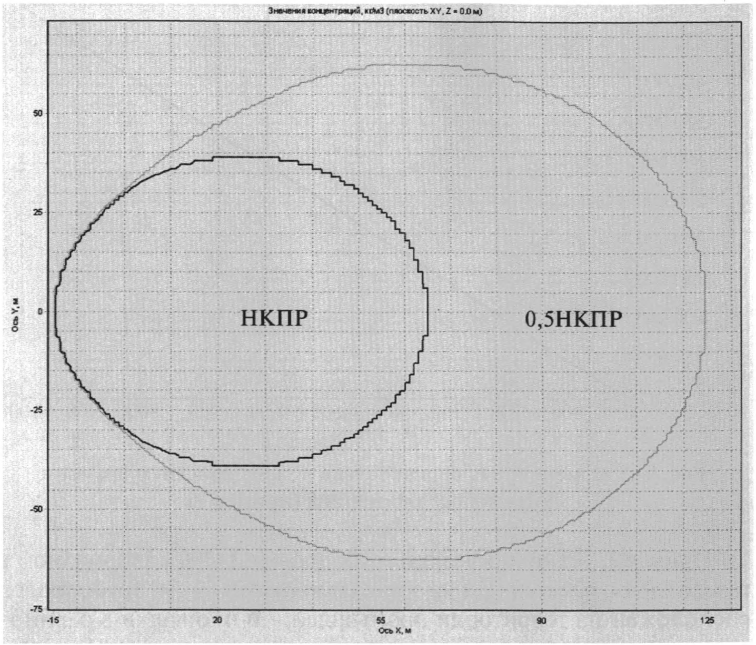


**Рис. 9-2.** Сечение зоны, ограниченной НКПР и 0,5 НКПР плоскостью, $z = 0$ (в направлении по ветру) при выбросе хлорметана (пример 1)

11. Так как высота облака в пределах зоны, где рассматривается рассеяние (1000 м), не превосходит 20 м, то согласно пункту 23 настоящего Руководства повторный расчет не требуется.

12. Для определения площади облака воспользуемся соотношением $S_{эфф} = \pi R^2_{эфф}$. Зависимость площади, покрываемой облаком, от времени приведена на рис. 9-3.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

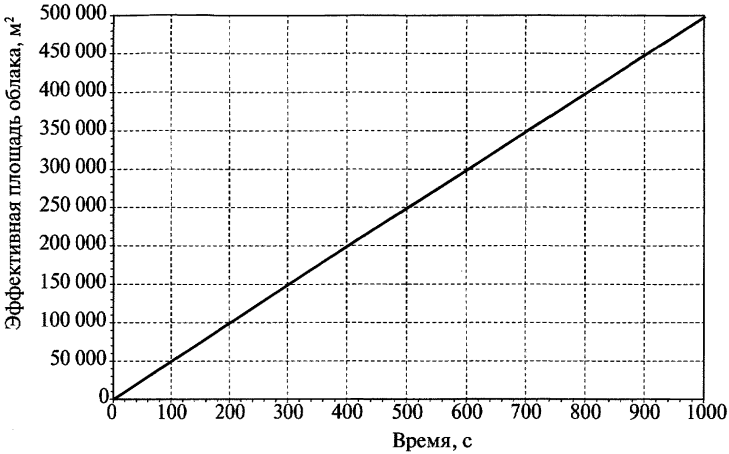


**Рис. 9-3**. Изменение площади облака в зависимости от времени при выбросе хлорметана (пример 1)

**Пример 2.** Технологический трубопровод Ду200 с хлорцианом в газовой фазе расположен на эстакаде высотой 50 см. Трубопровод расположен на территории промышленной площадки в равнинной местности, характерный размер шероховатости 0,018 м. На входе трубопровода стоит компрессор, расход которого составляет 10,3 кг/с. Давление в трубопроводе 1,3 атм. Трубопровод не теплоизолирован. Ночью в нижней образующей трубопровода в результате разгерметизации возникает отверстие диаметром 10 см. Время ликвидации утечки составляет 400 с. Метеоусловия: скорость ветра на высоте 10 м — 2,1 м/с, температура воздуха — 30 °С, облачность — 50 %. Профиль ветра аппроксимируется степенной зависимостью с показателем — 0,22.

Определить концентрации хлорциана в атмосфере, а также распределение токсодозы в зоне химического заражения, где возможно смертельное поражение незащищенных людей на открытой местности.

**Решение:**

1. По условиям хранения и характеру разрушения определяем тип сценария аварийной ситуации — 2.

2. С учетом комментария к формуле (14) определяем расход выброса $q_{выб} = 10{,}3$ кг/с.

3. Определяем плотность ОВ в выбросе по формуле (18) $\rho_2^{ги} = 2{,}65$ кг/м$^3$.

4. По формуле (16) определяем длительность выброса $t_2^{ги} = 400$ с.

5. Поскольку выброс осуществляется с высоты 0,5 м и плотность выброса больше плотности воздуха, высота вторичного облака в начальном сечении была принята $H_2^{ги} = 0{,}5$ м. Тогда по формуле (20) рассчитывается ширина сечения вторичного облака (шлейфа) в начальный момент времени (на месте выброса) — $B_2^{ги} = 4{,}6$ м.

6. С использованием данных табл. 7-4 определяем класс устойчивости атмосферы — Е.

7. С использованием данных табл. 7-5–7-7 определяем коэффициенты, используемые при расчете дисперсии, скорости подмешивания воздуха в облако.

8. Для определения концентрации хлорциана в атмосфере (122)–(123) численно решаем систему обыкновенных дифференциальных уравнений (124)–(132) с использованием уравнений (118)–(121) для стадии истечения газа в отсутствии пролива.

9. По формулам (136)–(137) рассчитываем поле концентрации при выбросе газообразного хлорциана из трубопровода. Соответствующие значения концентрации на оси выброса приведены на рис. 9-4.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

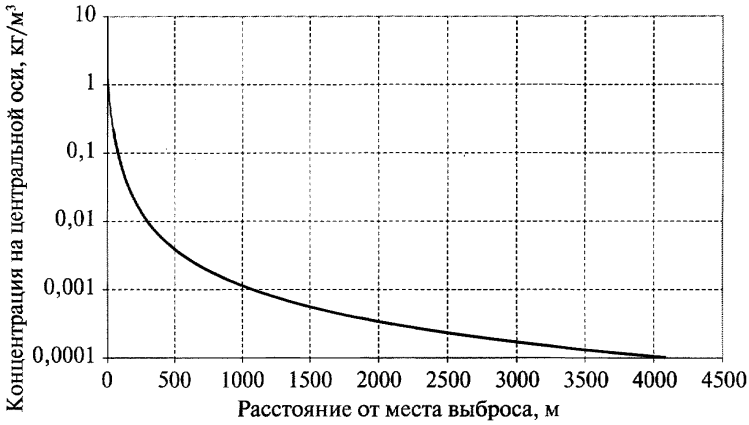


**Рис. 9-4.** Максимальная концентрация на оси облака (в направлении по ветру) при выбросе хлорциана (пример 2)

10. В соответствии с пунктом 40 настоящего Руководства и по значению смертельной токсодозы для хлорциана 11 мг·мин/л определяем размеры зоны смертельного поражения (рис. 9-5, 9-6). Протяженность зоны смертельного поражения составляет 905 м. Максимальная высота 4,45 м на расстоянии 382 м. Максимальная ширина 407 м на расстоянии 566 м.

11. В соответствии с пунктом 40 настоящего Руководства и по значению пороговой токсодозы для хлорциана 0,75 мг·мин/л определяем размеры зоны порогового воздействия (рис. 9-5,9-6). Протяженность зоны порогового воздействия 4077 м. Максимальная высота 22,3 м на расстоянии 1677 м. Максимальная ширина 874 м на расстоянии 1844 м.

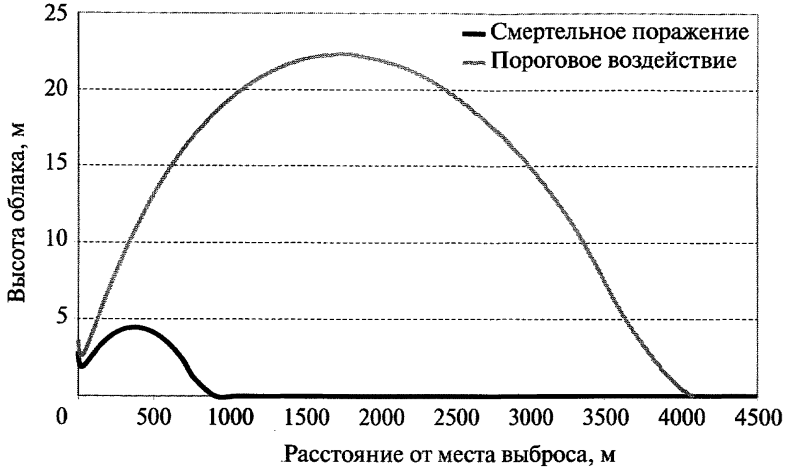


**Рис. 9-5.** Размеры зоны смертельного поражения в плоскости $y = 0$ (вертикальное сечение через ось выброса) при выбросе хлорциана (пример 2)

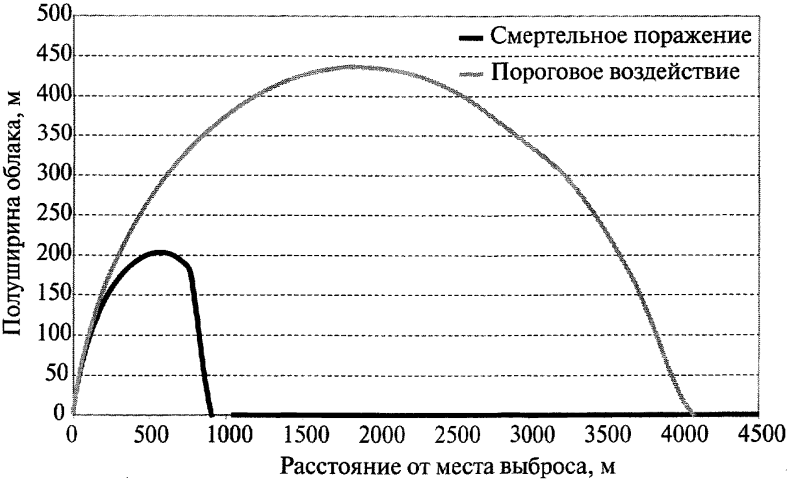


**Рис. 9-6.** Размеры зоны смертельного поражения на поверхности земли при выбросе хлорциана (пример 2)

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

**Пример 3.** На объекте хранения ОВ, расположенном в пределах небольшого города, имеется емкость объемом 100 м$^3$. Она на 50 % заполнена сжиженным аммиаком под давлением. Аммиак в емкости имеет температуру окружающей среды — 30 °С. Емкость стоит на бетонной поверхности.

Оценить, полагая наихудшие условия рассеяния, последствия аварии в случае мгновенного разрушения емкости. При оценке токсического поражения использовать время экспозиции — 30 мин.

**Решение:**

1. По условиям хранения и характеру разрушения определяем тип сценария аварийной ситуации — 3. Согласно пункту 22 настоящего Руководства в качестве наихудших условий рассеяния принимается скорость ветра на высоте 10 м — 1,0 м/с, устойчивость атмосферы — класс F. Выбираем тип подстилающей поверхности, над которой происходит рассеяние, — центр малых городов, с характерным размером шероховатости 0,55 м.

2. Время экспозиции принимаем равным 30 мин.

3. По формуле (24) определяем массу газовой фазы в емкости — 393,16 кг.

4. По объему емкости (100 м$^3$), степени заполнения (50 %) и плотности жидкой фазы аммиака 681 кг/м$^3$ определяем массу жидкой фазы в емкости — 34 050 кг.

5. По формуле (25) определяем массу аммиака, поступающую в первичное облако в виде газа, образовавшегося при вскипании перегретой жидкой фазы, — 6577,65 кг.

6. По формуле (26) определяем массу аммиака, поступающую в первичное облако в виде аэрозоля, образовавшегося при вскипании перегретой жидкой фазы, — 6577,65 кг. Согласно (27) это же количество жидкого аммиака задаем в первичном облаке в начале рассеяния.

7. По формуле (29) определяем площадь пролива — 613,65 м$^2$. Эту же величину согласно правилу, приведенному после форму-

лы (29), принимаем в качестве площади контакта жидкой фазы с подстилающей поверхностью.

8. По формуле (31) давление насыщенных паров при температуре окружающего воздуха — 8718 мм рт. ст.

9. По формуле (30) определяем время интенсивного кипения, в течение которого ОВ поступает в первичное облако из пролива, — 13 с.

10. По формуле (28) определяем массу газа, поступившего в первичное облако от пролива при его кипении — 183,73 кг.

11. По формуле (23) определяем массу аммиака в первичном облаке — 13 732,2 кг.

12. Согласно формуле (35) задаем равными 0 кг/с общие расходы аммиака и начальный расход жидкой фазы аммиака в следующих вторичных облаках:

в облаке, образующемся при истечении жидкой фазы;

в облаке, образующемся при истечении жидкой фазы после отсечения аварийного участка;

в облаке, образующемся при истечении газовой фазы при наличии пролива;

в облаке, образующемся при истечении газовой фазы в отсутствие пролива;

в облаке, образующемся при испарении из оборудования.

Согласно формуле (37) также полагаем равным 0 секунд длительности выброса аммиака в соответствующих вторичных облаках.

Согласно формулам (40), (44) и (45) также полагаем равным нулю начальные плотности аммиака в этих же вторичных облаках, их полуширину и высоту.

13. По формуле (39) определяем плотность аммиака в газовой фазе (при давлении 101 325 Па (1 атм) и температуре кипения −33,6 °С) — 0,865 кг/м$^3$. Эта же величина полагается равной начальной плотности во вторичном облаке, образующемся при испарении с пролива. Начальную температуру в первичном и вторичном облаках определяем как температуру кипения 240 К.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

14. По формуле (38) определяем начальную плотность первичного облака — 1,76 кг/м$^3$.

15. По формуле (41) определяем начальный радиус и высоту первичного облака, они равны 13,55 м.

16. По формуле (42) определяем полуширину вторичного облака, образующегося на стадии испарения аммиака из пролива в отсутствие газообразного выброса, — 12,39 м.

17. По формуле (43) определяем высоту, она равна 1,19 м.

18. По формуле (34) определяем скорость испарения с поверхности пролива и расход аммиака во вторичном облаке, образующемся на стадии испарения из пролива, она равна 4,52 кг/с. При расчете испарения использовалась начальная эффективная скорость вторичного облака, образующегося на стадии испарения из пролива, которая равна 0,18 м/с. Согласно формуле (35) расход аммиака в жидкой фазе во вторичном облаке, образующемся на стадии испарения ОВ из пролива, полагается равным нулю.

19. По формуле (36) определяем время испарения пролива — 4580 с.

20. Характерный размер шероховатости согласно пункту 24 настоящего Руководства определяем по табл. 7-3 — 0,55 м — центры малых городов.

21. Согласно пункту 23 настоящего Руководства определяем показатель степени в степенной зависимости скорости ветра от высоты — 0,655. С помощью этого показателя будет аппроксимироваться скорость в атмосферном слое 20 м над поверхностью земли.

22. По формуле (94) с использованием табл. 7-6 определяем масштаб Монина—Обухова — 23,49 м.

23. По формуле (95) определяем динамическую скорость — 0,07 м/с.

24. С использованием табл. 7-7 определяем коэффициент для расчета рассеяния.

25. Для определения концентраций аммиака в атмосфере при распространении первичного облака по формулам (105)–(106) численно решаем систему обыкновенных дифференциальных уравнений (107)–(115) с использованием уравнений (101)–(104).

26. На стадии испарения из пролива плотность аммиака в образующемся вторичном облаке 0,87 кг/м$^3$, что меньше плотности окружающего воздуха (1,16 кг/м$^3$), поэтому для расчета концентраций во вторичном облаке используем соотношения из методики «ТОКСИ-2».

27. Согласно пункту 40 настоящего Руководства сравнением с пороговыми и смертельными токсодозами для аммиака определяем расстояние, в пределах которого будет наблюдаться соответствующее поражение.

На поверхности земли протяженность зоны смертельного поражения составляет 212 м в направлении ветра и 160 м в направлении против ветра. Ширина зоны смертельного поражения составляет 393 м на 40 м от места выброса.

На поверхности земли протяженность зоны порогового воздействия составляет 863 м в направлении ветра и 385 м в направлении против ветра. Ширина зоны смертельного поражения составляет 1186 м на 360 м от места выброса.

Результаты расчета зон смертельного поражения и порогового воздействия приведены на рис. 9-7, 9-8. На рис. 9-7 показаны границы этих зон на поверхности земли, а на рис. 9-8 в вертикальной плоскости, проходящей через ось выброса. Положению места выброса на этих рисунках соответствуют пространственные координаты (0,0,0).

**Пример 4.** Происходит частичное разрушение трубопровода, идущего от емкости с жидким пропаном. Трубопровод содержит жидкую фазу. В результате происходит выброс пропана.

Емкость содержит 4 тонны жидкого пропана. Трубопровод диаметром 5 см идет от нижней части емкости. Высота уровня жидкой фазы над трубопроводом 0,5 м. Давление в емкости 9,2 атм, температура — 18,5 °С.

Аварийное отверстие (разгерметизация) в трубопроводе имеет эффективный диаметр 2 см (площадь 3,14 см$^2$). Место разрушения трубопровода находится на расстоянии 41 м от емкости. Предполагается, что через 60 с после разрушения происходит отсечение аварийного участка.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

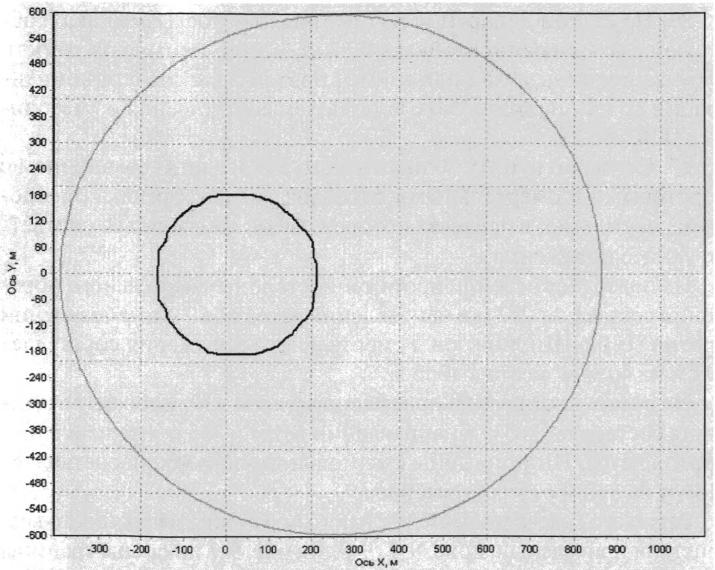


**Рис. 9-7.** Зоны смертельного поражения и порогового воздействия на поверхности земли при выбросе аммиака (пример 3)

Выброс происходит на песчаную почву, рассеяние происходит над ровным полем с травой высотой до 15 см. Температура воздуха и почвы 20,5 °С. Скорость ветра на высоте 10 м – 6 м/с. Класс устойчивости атмосферы — D.

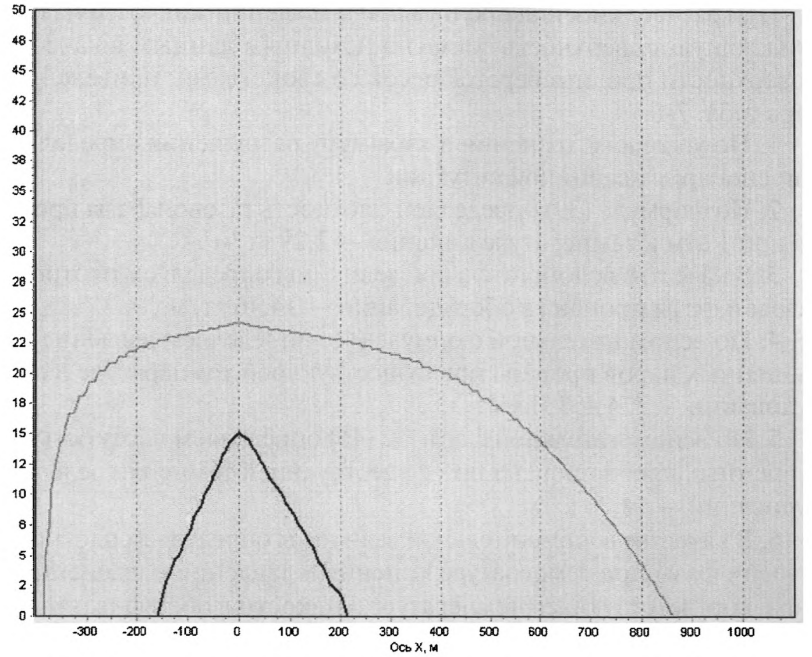


**Рис. 9-8.** Зоны смертельного поражения и порогового воздействия в вертикальной плоскости, проходящей через ось выброса, при выбросе аммиака (пример 3)

Оценить размеры пожаровзрывоопасной зоны, возникающей в результате такой аварии.

**Решение:**

При решении используем характеристики пропана, приведенные в табл. 7 1.

Выбираем тип подстилающей поверхности, над которой происходит рассеяние «трава до 15 см», с характерным размером шероховатости 0,01 м.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

При расчете кипения пролива при выпадении жидкости на подстилающую поверхность согласно исходным данным в качестве поверхности пролива берется песок со свойствами, приведенными в табл. 7-8.

1. По условиям хранения и характеру разрушения определяем тип сценария аварийной ситуации — 4.

2. По формуле (39) определяем плотность газовой фазы пропана при 1 атм и температуре кипения — 2,29 кг/м$^3$.

3. В качестве вспомогательной величины определяем плотность газовой фазы пропана в оборудовании — 14,16 кг/м$^3$.

4. По вспомогательной формуле (46) определяем давление насыщенных паров пропана при существующей температуре в оборудовании — 774 463 Па.

5. По вспомогательной формуле (46) определяем плотность насыщенных паров пропана при существующей температуре в оборудовании — 14,06 кг/м$^3$.

6. В качестве вспомогательной величины определяем плотность газовой фазы при температуре кипения и давлении насыщенного пара, соответствующем температуре жидкости в оборудовании, — 17,76 кг/м$^3$.

7. По формуле (48) определяем общий (жидкости и газа) расход в выбросе из разрушенного оборудования (до отсечения аварийного участка) — 4,97 кг/с.

8. По формуле (49) определяем общий (жидкости и газа) расход в выбросе из разрушенного оборудования (после отсечения аварийного участка) — 4,95 кг/с.

9. По формуле (31) определяем давление насыщенных паров пропана при температуре окружающего воздуха 6125 мм рт. ст.

10. По формуле (58) определяем расход газа, образовавшегося при вскипании перегретой жидкости, в выбросе из разрушенного оборудования (до отсечения аварийного участка) — 1,52 кг/с.

11. По формуле (58) определяем расход жидкости (в виде аэрозоля, образовавшегося при вскипании перегретой жидкости) в выбросе из разрушенного оборудования (до отсечения аварийно-

го участка) — 1,52 кг/с. Эту же величину полагаем равной расходу пропана в жидкой фазе (в виде аэрозоля) в начальном сечении вторичного облака, образующегося на стадии истечения жидкой фазы (до отсечения аварийного участка).

12. С помощью формулы (53) выполняем предварительный расчет времени выравнивания скоростей кипения и испарения за счет тепломассобмена с воздухом — 1,8 с.

13. По формуле (61) определяем расход пропана в газовой фазе, образовавшейся при вскипании перегретой жидкости, в выбросе из разрушенного оборудования (после отсечения аварийного участка) — 1,51 кг/с.

14. По формуле (62) определяем расход жидкого пропана (в виде аэрозоля, образовавшегося при вскипании перегретой жидкости) в выбросе из разрушенного оборудования (после отсечения аварийного участка) — 1,51 кг/с. Эту же величину полагаем равной расходу пропана в жидкой фазе (в виде аэрозоля) в начальном сечении вторичного облака, образующегося на стадии истечения жидкой фазы (после отсечения аварийного участка).

15. Определяем время испарения из пролива всего выброшенного пропана, в том числе после отсечения аварийного участка — 651 с.

16. По формуле (55) проводим предварительный расчет времени формирования первичного облака на стадии истечения жидкости из разрушенного оборудования до отсечения аварийного участка — 1,8 с.

17. По формуле (56) делаем предварительный расчет времени формирования первичного облака на стадии истечения жидкости из разрушенного оборудования после отсечения аварийного участка — 0 с.

18. По формуле (54) определяем площадь пролива пропана на стадии формирования первичного облака — 0,14 м$^2$. После формулы (56) приравниваем эту величину к площади контакта пролива с подстилающей поверхностью на стадии формирования первичного облака.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

19. С помощью формулы (53) окончательно определяем время формирования первичного облака — 0,12 с. Согласно расчету по формуле (55) первичное облако формируется на стадии истечения жидкости из разрушенного оборудования до отсечения аварийного участка. Время формирования первичного облака на стадии истечения жидкости из разрушенного оборудования после отсечения аварийного участка согласно формуле (56) равно 0 с.

20. По формуле (69) определяем длительность стадии истечения жидкости из разрушенного оборудования до отсечения аварийного участка — 59,88 с.

21. По формуле (69) определяем длительность стадии истечения жидкости из разрушенного оборудования после отсечения аварийного участка — 8,27 с.

22. По формуле (50) определяем массу пропана в первичном облаке — 0,38 кг. Согласно формуле (51) в начальный момент времени в первичном облаке находится 0,19 кг жидкого пропана. По формуле (79) рассчитываем начальную плотность первичного облака 4,56 кг/м$^3$. По формуле (84) определяем радиус и высоту первичного облака — 0,3 м. Начальная температура в первичном облаке составляет 231 К.

23. По формуле (72) определяем площадь пролива пропана — 5,17 м$^2$.

24. По формуле (85), первый вариант, определяем полуширину вторичного облака, образующегося на стадии истечения пропана в жидкой фазе (до отсечения аварийного участка) — 1,13698 м. По формуле (88) определяем высоту этого облака 0,13 м.

25. По формуле (57) расход пропана во вторичном облаке, образующемся на стадии истечении жидкой фазы (до отсечения аварийного участка), составляет 3,14 кг/с. Начальный расход пропана в газовой фазе в этом вторичном облаке составляет 1,62 кг/с. Начальная скорость перемещения этого облака составляет 2,37 м/с. По формуле (80) рассчитываем начальную плотность среды в этом облаке — 4,44 кг/м$^3$. Начальная температура во вторичном облаке составляет 231 К.

26. По формуле (86), первый вариант, определяем полуширину вторичного облака, образующегося на стадии истечении пропана в жидкой фазе (после отсечения аварийного участка), — 1,14 м. По формуле (89) определяем высоту этого облака 0,13 м.

27. По формуле (57) расход пропана во вторичном облаке, образующемся на стадии истечения жидкой фазы (после отсечения аварийного участка), составляет 3,13 кг/с. Начальный расход пропана в газовой фазе в этом вторичном облаке составляет 1,62 кг/с. Начальная скорость перемещения этого облака составляет 2,37 м/с. По формуле (81) рассчитываем начальную плотность среды в этом облаке — 4,44 кг/м$^3$. Начальная температура во вторичном облаке составляет 231 К.

28. По формулам (73), (75) и (78) получаем, что длительности таких этапов, как истечения из разрушенного оборудования газа при наличии пролива, истечение газа в отсутствие пролива и испарение из емкости, равны нулю, то есть эти стадии в рассматриваемой аварийной ситуации отсутствуют.

29. По формуле (87) определяем полуширину вторичного облака, образующегося на стадии испарения пропана из пролива в отсутствие выброса из оборудования, — 1,14 м. По формуле (91) определяем высоту этого вторичного облака — 0,01 м. Средняя начальная скорость перемещения этого облака составляет 1,46 м/с. По формуле (66) определяем расход пропана в этом облаке — 0,08 кг/с. Согласно формуле (63) жидкая фаза в этом вторичном облаке отсутствует. Согласно формуле (83) начальная плотность этого облака составляет 2,29 кг/м$^3$. Начальная температура во вторичном облаке составляет 231 К.

30. По формуле (71) определяем время испарения пролива пропана после окончания истечения жидкой фазы — 1462 с.

31. Характерный размер шероховатости согласно пункту 21 настоящего Руководства определяем по табл. 7-1 приложения № 7 к настоящему Руководству — 0,01 м.

32. Согласно пункту 23 настоящего Руководства определяем показатель степени в степенной зависимости скорости ветра от вы-

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

соты — 0,19. С помощью этого показателя будет аппроксимироваться скорость в атмосферном слое 20 м над поверхностью земли.

33. По формуле (94) с использованием табл. 7-6 приложения № 7 к настоящему Руководству определяем масштаб Монина—Обухова — бесконечно большая величина.

34. По формуле (95) определяем динамическую скорость 0,35 м/с.

35. С использованием табл. 7-7 приложения № 7 к настоящему Руководству определяем необходимый коэффициент для расчета рассеяния.

36. Для определения концентраций пропана в атмосфере при распространении первичного облака (105)–(106) численно решаем систему обыкновенных дифференциальных уравнений (107)–(115) с использованием уравнений (101)–(104).

37. Согласно разделу VI настоящего Руководства определяем размеры зон со взрывоопасной концентрацией.

Результаты расчета зон с концентрацией ВКПР, НКПР и 0,5 НКПР представлены на рис. 9-9, 9-10. На рис. 9-9 показаны границы этих зон на поверхности земли, а на рис. 9-10 в вертикальной плоскости, проходящей через ось выброса. Положению места выброса на этих рисунках соответствуют пространственные координаты (0,0,0).

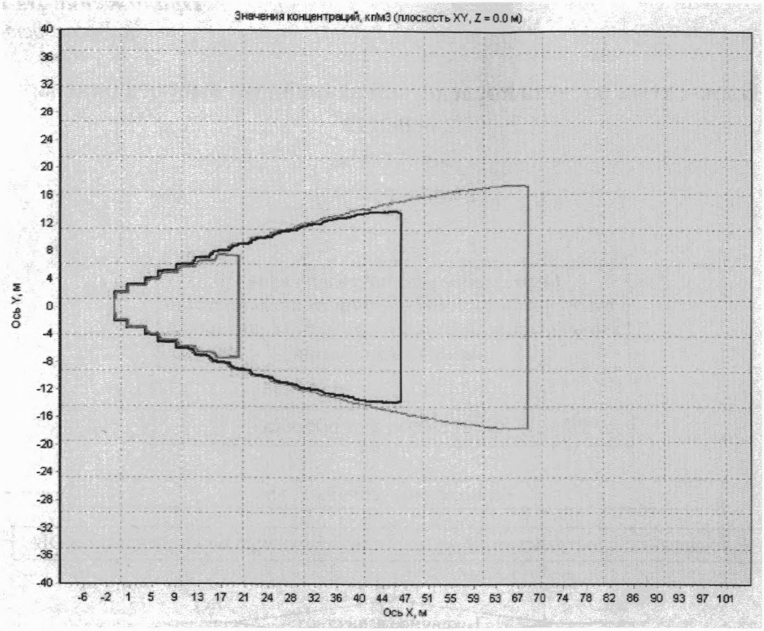


**Рис. 9-9.** Зоны достижения концентрацией ВКПР, НКПР и 0,5 НКПР на поверхности земли при выбросе пропана (пример 4)

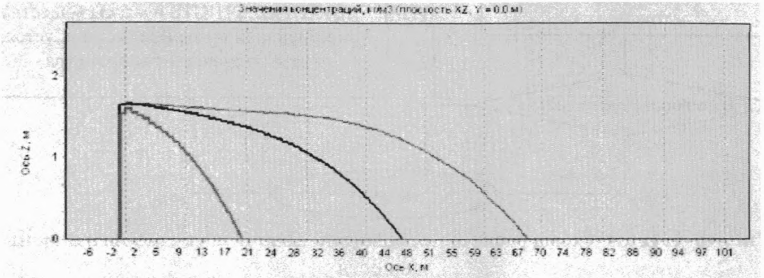


**Рис. 9-10.** Зоны достижения концентрацией ВКПР, НКПР и 0,5 НКПР в вертикальной плоскости, проходящей через ось выброса, при выбросе пропана (пример 4)

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

***Приложение № 10***
*к Руководству*

## Блок-схема расчета последствий аварийного выброса опасных веществ

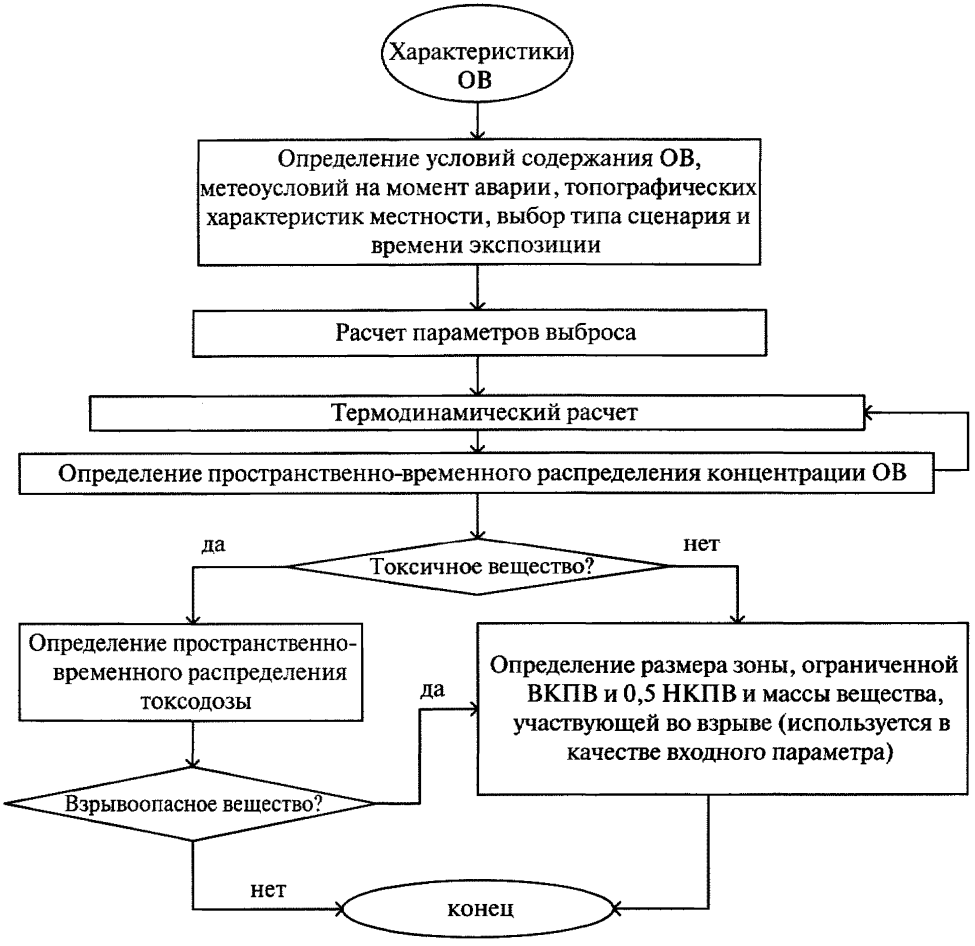


**Рис. 10-1.** Блок-схема расчета последствий аварийного выброса опасных веществ

***Приложение № 11***
*к Руководству*

**Рекомендации по учету сложных многокомпонентных смесей**

Руководство применимо для случаев выброса сложных многокомпонентных смесей различных ОВ, в том числе смесей углеводородов, при этом рекомендуется рассматривать один из двух вариантов:

**Вариант 1**

Используется «модельное» вещество, свойства которого корректно описывают соответствующие физические процессы, соответствуют имеющимся экспериментальным данным по испарению и кипению многокомпонентных смесей. При этом рекомендуется учитывать, что в случае многокомпонентных смесей состав жидкостной и газовой фаз может существенно различаться.

В качестве коэффициента $\gamma\,(C_p/C_v)$ выбирается показатель адиабаты, соответствующий составу газовой фазы, либо находящейся изначально в оборудовании (сценарии 1, 2 раздела III настоящего Руководства), либо образующейся после испарения (кипения) перегретой жидкой фазы (сценарии 3, 4 раздела III настоящего Руководства).

В качестве плотности жидкости $\rho_{ж}$ выбирается плотность жидкой фазы, остающейся после вскипания жидкости, находящейся в оборудовании.

В качестве температуры кипения $T_{кип}$ выбирается температура, соответствующая равновесному состоянию «пар-жидкость» при атмосферном давлении в случае изэнтропического расширения ОВ от условий его содержания в оборудовании.

В качестве теплоемкости жидкости $C_v$ выбирается теплоемкость жидкой фазы, остающейся после вскипания жидкости, находящейся в оборудовании.

В качестве теплоты испарения $\Delta H_{исп}$ выбирается величина, обеспечивающая испарение наблюдаемого на практике количества

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

перегретой жидкости для выбранных значений температуры кипения $T_{кип}$ и теплоемкости жидкости $C_p$.

В качестве молярной массы μ выбирается величина, соответствующая составу газовой фазы либо находящейся изначально в оборудовании (сценарии 1, 2 раздела III настоящего Руководства), либо образующейся после испарения (кипения) перегретой жидкой фазы (сценарии 3, 4 раздела III настоящего Руководства).

В качестве теплоемкости газа $C_v$ выбирается величина, соответствующая составу газовой фазы либо находящейся изначально в оборудовании (сценарии 1, 2 раздела III настоящего Руководства), либо образующейся после испарения (кипения) перегретой жидкой фазы (сценарии 3, 4 раздела III настоящего Руководства).

При определении свойств газовой фазы рекомендуется учитывать изменение γ, μ и $C_v$ при изменении состава газовой фазы, которое происходит во времени при испарении с одной стороны образовавшегося пролива, а с другой стороны аэрозольных капель, находящихся в дрейфующих облаках.

,При определении свойств жидкости рекомендуется учитывать изменение $\rho_ж$, $T_{кип}$, $C_p$ и $\Delta H_{исп}$ при изменениях состава жидких фаз, которые происходят во времени при испарении с одной стороны в образовавшемся проливе, а с другой стороны в аэрозольных каплях, находящихся в дрейфующих облаках.

**Вариант 2**

Используются результаты решения различных термодинамических задач для расчета:

фазового равновесия сложных многокомпонентных систем при заданной температуре для определения состава газовой и жидкостной фракций, давления насыщения;

адиабатического расширения газов;

адиабатического расширения вскипающей жидкости;

скоростей истечения;

интенсивности кипения пролива;

параметров ОВ в облаке (приложение № 12 к настоящему Руководству).

При этом в обоих вариантах для сложных многокомпонентных смесей:

скорость испарения из проливов и из капель (находящихся в дрейфующих облаках), состав и свойства образующейся газовой фазы определяются на основе эмпирических данных либо расчетным путем с соответствующим обоснованием метода расчета (термодинамика, молекулярная динамика);

концентрационные пределы распространения пламени (НКПР и ВКПР) и показатели токсичности (пороговая токсодоза $PC_{t\,50}$, смертельная токсодоза $LC_{t\,50}$, коэффициенты пробит-функции) определяются на основе эмпирических данных;

стехиометрическая концентрация определяется на основе соответствующего состава газовой фазы.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

***Приложение № 12***
*к Руководству*

**Рекомендации по применению термодинамических расчетов**

При использовании Руководства рекомендуется применять также термодинамические расчеты, которые позволят для системы, находящей изначально при определенном давлении и температуре и состоящей в общем случае из множества различных веществ и фаз, а в простейшем случае из одного вещества, определить ее параметры:

состав по веществам (компонентам);

состав по фазам;

полный набор термодинамических параметров (давление, температура, плотность, внутренняя энергия, энтропия, энтальпия, энергия Гиббса и т.д.);

набор первых производных термодинамических параметров (например, скорость звука — это квадрат первой производной давления по плотности).

Термодинамические расчеты могут быть проведены корректно в случае, когда:

известен начальный состав системы (либо молекулярный — набор и количество различных индивидуальных веществ, либо атомарный — брутто-формула смеси различных веществ);

известны два любых параметра смеси (например, давление и температура);

задана степень равновесия (например, полное фазовое равновесие при отсутствии химических реакций).

При расчете всегда предполагается отсутствие химических реакций.

При проведении термодинамических расчетов (приложение № 11 к настоящему Руководству) решаются следующие термодинамические задачи:

для расчета параметров фазового равновесия сложных многокомпонентных систем решается *T-P* задача определения состояния при данном давлении и температуре, исходный состав полагается равным составу жидкой фазы в неразрушенном оборудовании;

для расчетов адиабатического расширения газов решается *S-P* задача определения состояния при заданном значении давления и энтропии, при этом энтропия полагается равной энтропии в исходном состоянии (в неразрушенном оборудовании), а давление — равным атмосферному, исходный состав полагается равным составу газовой фазы в неразрушенном оборудовании;

для расчета адиабатического расширения вскипающей жидкости решается *S-P* задача определения состояния при заданном значении давления и энтропии, при этом энтропия полагается равной энтропии в исходном состоянии, а давление — равным атмосферному, исходный состав полагается равный составу в неразрушенном оборудовании;

для расчета скоростей истечения со звуковой скоростью решается *S-P* задача определения состояния, включая скорость звука, при заданном значении давления и энтропии, при этом энтропия полагается равной энтропии в исходном состоянии, а давление — равным атмосферному, исходный состав полагается равный составу в неразрушенном оборудовании;

для расчета интенсивности кипения пролива решается задача *H-P* задача определения состояния системы при заданных значениях энтальпии (энергии) и давлении, при этом энергия полагается равной сумме исходной внутренней энергии и энергии, подводимой от подстилающей поверхности, давление полагается равным атмосферному, исходный состав полагается равным составу жидкой фазы, проливающемуся на поверхность в начальный момент времени;

для определения состояния в облаке решается *H-P* задача определения состояния системы при заданных значениях энтальпии (энергии) и давлении, при этом энергия (энтальпия) полагается равной сумме исходной внутренней энергии ОВ, распространяющегося в атмосфере, внутренней энергии (энтальпии) воздуха, смешивающегося с ОВ в ходе распространения с выбросом, а также энергии, поступающей за счет теплообмена с подстилающей поверхностью.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

***Приложение № 13***
*к Руководству*

## Рекомендации по учету подмешивания воздуха на начальном этапе выброса

При использовании Руководства допускается рассматривать также выбросы, в которых имеет место разбавление воздухом уже на начальном этапе распространения. Это разбавление происходит за счет турбулизации потоков вблизи границ раздела сред (ОВ — воздух). Такая турбулизация обусловлена существованием градиентов скорости и давления в высокоскоростных потоках, формирующихся на начальном этапе вблизи места выброса: струи газа и двухфазных сред, адиабатически расширяющихся объемов.

Учет разбавления производится через задание величины $Q_i^{\text{разб}}$ — массы воздуха в первичных облаках в начале рассеяния и $q_i^{l\,\text{разб}}$ — расходы воздуха во вторичных облаках в начале рассеяния. Эти величины определяются путем умножения соответствующих массы (расходов) ОВ в первичных ($Q_i$) или вторичных ($q_i^l$) облаках на коэффициенты $\alpha_{i\,\text{возд}}$ для первичных облаков или $\alpha^l_{i\,\text{возд}}$ для вторичных: $Q_i^{\text{разб}} = \alpha_{i\,\text{возд}} Q_i$; $q_i^{l\,\text{разб}} = q_i^l \alpha^l_{i\,\text{возд}}$.

За счет динамических и (или) гравитационных эффектов при истечении ОВ в атмосферу может произойти смещение в пространстве положения первичного или вторичного облака по отношению к месту разгерметизации оборудования, то есть вместо начального положения облака с координатами (0,0,H/2) принимаются координаты $\Delta X_{\text{обл}}$, $\Delta Y_{\text{обл}}$, $\Delta Z_{\text{обл}}$.

Величины коэффициентов $\alpha_{i\,\text{возд}}$ и $\alpha^l_{i\,\text{возд}}$, а также параметры смещения облака $\Delta X_{\text{обл}}$, $\Delta Y_{\text{обл}}$ и $\Delta Z_{\text{обл}}$ обосновываются и определяются по расчетам начальных этапов распространения выбросов. Эти расчеты и обоснования могут быть сделаны:

на основе расчета по интегральным моделям теории турбулентных струй;

на основе расчета методами прямого численного моделирования (методы вычислительной газодинамики).

Зная величины $Q_i^{\text{разб}}$ и $q_i^{l\,\text{разб}}$ с использованием приложения № 8 к настоящему Руководству, определяются параметры облака, разбавленного воздухом, непосредственно в начале рассеяния, а именно:

плотность смеси после подмешивания воздуха ($\rho_{\text{эффi}}$ — для первичного облака или $\rho^l_{\text{эффi}}$ — для вторичных облаков);

температура смеси после подмешивания воздуха ($T_{\text{эффi}}$ — для первичного облака или $T^l_{\text{эффi}}$ — для вторичных облаков);

масса ОВ в жидкой фазе после подмешивания воздуха ($Q_{\text{ж}i}$ — для первичного облака или $q^l_{\text{ж}i}$ — для вторичных облаков).

При расчете вместо используемых в формулах (145)–(153) величин $Q_{\text{сум}i}$ для первичных облаков и $q^l_{\text{сум}i}$ для вторичных облаков рекомендуется использовать рассчитанные вышеуказанным образом величины $Q_i^{\text{разб}} + Q_i$ для первичных и $q_i^{l\,\text{разб}} + q^l_i$ для вторичных облаков.

Эти же величины массы первичных ($Q_i^{\text{разб}} + Q_i$) и расходов вторичных ($q_i^{l\,\text{разб}} + q^l_i$) облаков с учетом подмешенного на начальном этапе воздуха рекомендуется использовать и для расчета начальных размеров облаков в формулах (8), (20), (39), (41), (82)–(84), (86)–(91), заменяя ими соответствующие величины массы без учета подмешивания воздуха.

Также для расчета начальных размеров облаков в (8), (20), (39), (41), (82)–(84), (86)–(91) рекомендуется вместо плотностей чистых ОВ (без подмешивания воздуха) использовать плотности $\rho_{\text{эффi}}$ (для первичного облака) и $\rho^l_{\text{эффi}}$ (для вторичных облаков), рассчитанные, как указано в приложении № 8 к настоящему Руководству, с учетом подмешенного на начальном этапе воздуха.

Расчеты процессов распространения выбросов без подмешенного на начальном этапе воздуха или с ним идентичны. Они выполняются в порядке, рекомендованном в настоящем Руководстве, при этом при учете подмешивания воздуха для вторичных облаков рекомендуется учитывать в размере зон поражения расстояние, на которое смещается в потоке ветра облако-шлейф на начальном этапе подмешивания.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

***Приложение № 14***
*к Руководству*

**Рекомендации по учету температурной зависимости свойств опасного вещества**

При использовании Руководства рекомендуется также учитывать зависимость свойств ОВ от температуры, в том числе для многокомпонентных систем, при этом рекомендуется рассматривать один из двух вариантов:

**Вариант 1**

Использовать термодинамические расчеты согласно приложениям № 11 и 12 к настоящему Руководству. При этом в термодинамических расчетах рекомендуется учитывать температурную зависимость свойств ОВ от температуры.

**Вариант 2**

Использовать в качестве теплоемкостей, показателей адиабат и теплот испарения осредненные значения для соответствующих температурных зависимостей. Плотность же жидкой фазы в этом случае рекомендуется брать с учетом температуры, при которой она находится.

***Приложение № 15***
*к Руководству*

## Рекомендации по учету изменения плотности при распространении выброса

При использовании Руководства рекомендуется также учитывать изменение плотности выброса, когда при определенных условиях распространения выброс перестает быть «тяжелым» газом и плотность облака станет меньше плотности воздуха.

В таком случае для завершения расчета допускается проводить расчеты по данному Руководству, но при этом:

формулы (109) и (126), описывающие гравитационное растекание, не используются;

величины $r_i$ (или соответственно $b_i^l$) фиксируются и перестают изменяться;

величины эффективного радиуса $R_{эффi}$ или соответственно полуширины $B^l_{эффi}$ рассчитываются по формулам (99) и (118).

Если на стадии рассеяния происходит повторное изменение плотности — выброс снова становится «тяжелым» газом, то процедура расчета возвращается к стандартной процедуре расчета распространения «тяжелого» газа, описанной в данном Руководстве.

Данная процедура повторяется до завершения расчета.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

По вопросам приобретения
нормативно-технической документации
обращаться по тел./факсу
(495) 620-47-53 (многоканальный)
E-mail: gost.e-ecolog.ru

Подписано в печать 14.10.2015. Формат 60×84 1/16.
Гарнитура Times. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Объем 8,125 печ. л.
Заказ № 979.
Тираж 20 экз.

Подготовка оригинал-макета и печать
Закрытое акционерное общество
«Научно-технический центр исследований
проблем промышленной безопасности»
105082, г. Москва, Переведеновский пер., д. 13, стр. 14

gost.e-ecolog.ru