



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

П Р И К А З

02 июля 2015 г.

№ 385

Москва

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

В соответствии с пунктом 5 статьи 3 Федерального закона от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», пунктом 1 Положения о Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 30 июля 2004 г. № 401, приказываю:

1. Утвердить прилагаемое Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ».
2. Признать утратившим силу приказ Ростехнадзора от 20 апреля 2015 г. № 158 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ».

Руководитель

А.В. Трёмбицкий

УТВЕРЖДЕНО
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от «04» мая 2022 г. № 385

**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 15 декабря 2020 г. № 533 (зарегистрирован Минюстом России 25 декабря 2020 г., регистрационный № 61808), 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), федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности химически опасных производственных объектов», утвержденных приказом Ростехнадзора от 7 декабря 2020 г. № 500 (зарегистрирован Минюстом России 22 декабря 2020 г., регистрационный № 61706), федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при производстве, хранении, транспортировании и применении хлора», утвержденных приказом Ростехнадзора от 3 декабря 2020 г. № 486 (зарегистрирован Минюстом России 24 декабря 2020 г., регистрационный № 61776).

2. 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 (далее – ОПО), на которых возможны случаи выброса опасных веществ в атмосферу, а также при изготовлении, монтаже, наладке, обслуживании и ремонте технических устройств, применяемых на ОПО. Руководство не является нормативным правовым актом.

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

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

5. Руководство рекомендуется использовать для расчета выбросов газообразных или жидких опасных веществ 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 опасных веществ в атмосфере, приведенные в Руководстве, основаны на модели рассеяния «тяжелого» газа. Основными особенностями образования «тяжелого» газа являются: соотношение плотности газообразного опасного вещества и плотности воздуха более 1, низкая температура, наличие аэрозолей, а в данном документе под «тяжелым» газом понимается смесь воздуха, газовой фазы и капель опасного вещества, плотность которой выше плотности окружающего воздуха. При этом, если соотношение плотности газообразного опасного вещества и плотности

воздуха соответствует или меньше 1, то такие опасные вещества относят к «легким» или «нейтральным» газам.

7. Модель распространения в атмосфере «тяжелого» газа учитывает следующие процессы:

а) распространение длительного струевого выброса в атмосфере из круглого отверстия разрушения, эквивалентного по площади реальному отверстию разрушения; при этом если для моделирования рассеяния достаточно рассмотрения только струевого участка, то допускается расчет струевого выброса не только отрицательной плавучести («тяжелый» газ), но и «легких» и «нейтральных» газов;

б) движение облака (в т.ч. осевшего на поверхность земли) с учетом изменения скорости ветра по высоте;

в) гравитационное растекание облака;

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

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

е) нагрев или охлаждение облака за счет подмешивания воздуха;

ж) фазовые переходы опасного вещества в облаке («газ-жидкость» и «жидкость-газ»);

з) теплообмен облака с подстилающей поверхностью.

8. В Руководстве приняты следующие допущения:

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

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

в) гравитационное растекание облака опасного вещества учитывается с помощью эмпирической зависимости;

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

д) истечение и испарение опасного вещества происходят с постоянной скоростью, соответствующей максимальной скорости истечения (испарения) если не рассматривается динамика растекания пролива и скорость испарения; при учете динамики процессов растекания-испарения на основе решения уравнений движения мелкой воды, уравнений движения мелкой воды на рельефе или гравитационного растекания жидкости площадь и геометрия разлива и скорость испарения рассматриваются как функции времени.

е) разлив жидкой фазы происходит на поверхности без впитывания;

ж) для случаев отсутствия обвалования толщина слоя разлившегося жидкого опасного вещества принимается равной $0,05 \text{ м}^1$;

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

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

9. В Руководстве используются стандартные характеристики атмосферы и профили ветра, а также известные скорости подмешивания воздуха в выброс. Для описания устойчивости атмосферы используется 6 классов устойчивости:

¹ При наличии достаточных обоснований допускается задание слоя разлива с глубиной отличной от $0,05 \text{ м}$, в частности в соответствии со сводом правил «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» СП 12.13130.2009, утвержденным приказом МЧС России от 25.03.2009 № 182.

А, В, С, D, Е и F (по Паскуилу), где класс устойчивости атмосферы — это совокупность метеорологических факторов (скорость ветра, облачность, вертикальный тепловой поток), создающих определенные условия рассеяния в атмосфере. 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 Руководстве рассматриваются следующие условия изменения состояния опасного вещества:

а) проливы жидкой фазы рассматриваются, как правило, в форме квадрата, вдоль одной из сторон которого направлен ветер; в случае если фактические поперечные размеры пролива существенно отличаются от продольных, допускается принимать или рассчитывать поперечный размер пролива отличным от принятого в Руководстве с учетом наличия реальных обвалований, уклонов стока, особенностей рельефа, в том числе с использованием уравнений движения мелкой воды, уравнений движения мелкой воды на рельефе или гравитационного растекания жидкости;

б) если из оборудования происходит длительный (струйный) выброс, то его рассмотрение проводится с учетом высоты и направления выброса: рассеяние выброса рассматривается от уровня выброса; рассеяние залповых выбросов и рассеяние от проливов рассматривается от уровня поверхности земли; струйные выбросы из оборудования газовой фазы и вскипающих сред могут на начальном участке не касаться земли и рассеиваться на некоторой высоте над нею; соприкосновение с поверхностью земли происходит уже на некотором удалении от места выброса;

в) в начальный момент времени (на месте выброса) первичное облако опасного вещества (т.е. область пространства, ограниченная поверхностями заданной концентрации опасного вещества) имеет форму цилиндра (рисунок 3-1 приложения № 3 к Руководству), вертикальное сечение вторичного облака опасного вещества от проливов вдоль направления ветра

во всех сценариях представляет собой прямоугольник (рисунок 3-2 приложения № 3 к Руководству); струевые выбросы газа и вскипающих сред в поперечном к оси струи сечении имеют форму круга с однородным распределением всех параметров (концентрации, скорости, температуры...).

Под первичным облаком понимается 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.

Под вторичным облаком (или шлейфом) понимается 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);

г) капли в облаках не «захлаживаются», то есть их температура не снижается ниже температуры кипения опасного вещества; пролив жидкости на подстилающую поверхность может при длительном времени рассмотрения «захлаживаться» до температуры ниже температуры кипения, что имеет место при испарении пролива за счет тепло-массообмена с атмосферой;

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 Руководству. Для струйных выбросов газа или вскипающей фазы такое подмешивание рекомендуется учитывать в рамках интегральной модели, описанной

в Руководстве. Для консервативной оценки допускается принимать, 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 опасного вещества приводят только к изменению высоты облака;

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

к) при рассмотрении проливов и при рассмотрении испарения опасного вещества из них в более точном (т.е. с учетом динамики изменения параметров пролива во времени) приближении нежели в допущении пункта 8 «и» данного Руководства рекомендуется пользоваться моделью движения жидкости в приближении мелкой воды (в т.ч. с учетом рельефа, по которому происходит растекание) или моделью гравитационного растекания жидкости; для оценки скорости испарения/кипения проливов рекомендуется использовать балансы тепло-массообмена, в которых учитываются потоки тепла от подстилающей поверхности, от воздуха, от поступления с выброшенной жидкостью, от фазовых переходов «пар-жидкость», для слаболетучих жидкостей рекомендуется учитывать тепловой поток от солнечного излучения, а при наличии возможности растворения опасного вещества в подстилающей среде и теплоту, затрачиваемую на растворение; а при учете баланса масс рекомендуется учитывать массу поступающего в пролив жидкого опасного вещества от аварийного места разрушения, массу, переходящую в атмосферу в результате испарения/кипения, а при наличии возможности растворения

опасного вещества в подстилающей среде и массу, растворяющуюся в жидкой фазе подстилающей среды;

л) в случае если в ходе развития аварии к месту аварии от смежного оборудования поступает дополнительное количество опасного вещества, сопоставимое с количеством опасного вещества, находившегося в аварийной единице оборудования, то в расчетах следует учитывать это дополнительное опасное вещество, участвующее в создании поражающих факторов.

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

а) расчет рассеяния опасного вещества 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 опасного вещества в первичном облаке более 500 т;

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

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

ж) рассеяние твердых опасных веществ;

з) выпадение конденсированной фазы на подстилающую поверхность и ее повторное поступление в атмосферу.

III. НЕКОТОРЫЕ ВОЗМОЖНЫЕ СЦЕНАРИИ ВЫБРОСА ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ

12. Руководство рекомендует проводить расчеты для следующих сценариев выброса опасного вещества в зависимости от характера разрушения оборудования и агрегатного состояния опасного вещества. Учитывается, что разрушение оборудования – это 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.

Сценарий 1. Полное разрушение оборудования, содержащего газообразное опасное вещество.

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

Сценарий 3. Полное разрушение оборудования, содержащего жидкое опасное вещество.

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

По сценариям 1 и 3 опасное вещество поступает в окружающую среду мгновенно; по сценариям 2 и 4 опасное вещество 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 Руководству, возможные стадии развития аварийных ситуаций приведены в приложении № 5 к 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 опасного вещества, в качестве исходных данных рекомендуется принимать:

а) сценарий с полным разрушением емкости (технологической, складской, транспортной и др.), содержащей опасное вещество

в максимальном количестве, либо крупная разгерметизация с длительным выбросом;

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 для токсичного поражения, для оценки зон достижения пожаровзрывоопасных концентраций рекомендуется рассматривать помимо отмеченных выше условий (F) условия рассеяния при классах устойчивости атмосферы А–В и скоростях ветра до 3 м/с.

г) при наличии струйных выбросов следует рассматривать несколько вариантов ориентации струи по отношению к ветру с целью выявления максимальных зон поражения.

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

13. Исходными данными для расчета характеристик выбросов опасного вещества являются свойства опасного вещества, технологические данные с учетом параметров оборудования, в котором обращается опасное вещество, сценарии выброса опасного вещества 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 Руководству.

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

а) пространственно-временное распределение концентраций опасного вещества 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 таблицах № 7-1, 7-2 приложения № 7 к Руководству.

Ингаляционная токсодоза — это 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. Под пороговой токсодозой понимается 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). Под смертельной (летальной) токсодозой понимается наименьшая ингаляционная токсодоза опасного вещества, вызывающая у человека, не оснащенного средствами защиты органов дыхания, смерть с 50% вероятностью (табулированное значение для каждого опасного вещества);

в) размеры зон, ограниченных концентрационными пределами распространения пламени;

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

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

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

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

з) при продолжительном выбросе определяется скорость и длительность поступления опасного вещества 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:

$$Q_i, Q_{жi}^0, q_i^ж, q_i^г, q_i^{ги}, q_i^и, q_i^е, q_{жi}^{0ж}, q_{жi}^{0г}, q_{жi}^{0ги}, q_{жi}^{0и}, q_{жi}^{0е}, t_1^ж, t_1^г, t_1^{ги}, t_1^и, t_1^е, \rho_i^{выб}, \rho_i^ж, \rho_i^г, \rho_i^{ги}, \rho_i^и, \rho_i^е, R_i, B_i^ж, B_i^г, B_i^{ги}, B_i^и, B_i^е, H_i, H_i^ж, H_i^г, H_i^{ги}, H_i^и, H_i^е.$$

Для сценария 4 при истечении из трубопровода, если количество опасного вещества в отсекаемом участке аварийного трубопровода (т.е. участке 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) составляет более 20% общей массы выброса, дополнительно рекомендуется рассчитывать:

$$q_i^{отс\ выб}, q_{жi}^{0\ отс\ выб}, \rho_i^{отс\ выб}, t_i^{отс\ выб}, B_i^{отс\ выб}, H_i^{отс\ выб}.$$

При наличии и необходимости учета дополнительных потоков опасного вещества от смежных блоков перечисленные величины рассчитываются с учетом расходов и длительности этих дополнительных потоков с учетом времени их отсечения (перекрытия). При этом при реализации сценариев 1 или 3 (мгновенное разрушение аварийной емкости) необходимо рассматривать соответственно последовательности сценариев 1 (разрушение аварийной единицы оборудования с газовой фазой) и 2 (выброс за счет потоков газа от смежного оборудования) и сценариев 3 (разрушение аварийной единицы оборудования с жидкой фазой) и 2, 4 (выброс за счет потоков от смежного оборудования). В случае нескольких потоков, поступающих к разрушенной единице оборудования по сценариям 2 и/или 4, моделируется выброс с суммарным расходом от всех потоков к месту разрушения от соседних единиц оборудования.

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

$$Q_1 = Q, \quad (1)$$

если известна масса опасного вещества в оборудовании Q , или

$$Q_1 = \frac{\mu V_1 P_1}{R T_1}, \quad (2)$$

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

$$Q_1 = \frac{\mu V_1 P_1}{R T_1}, \quad (3)$$

$$q_1^{\text{ж}} = q_1^{\Gamma} = q_1^{\Gamma\text{И}} = q_1^{\text{И}} = q_1^{\text{е}} = q_1^{\text{отс выб}} = q_{\text{ж}1}^{0\text{ж}} = q_{\text{ж}1}^{0\Gamma} = q_{\text{ж}1}^{0\Gamma\text{И}} = q_{\text{ж}1}^{0\text{И}} = q_{\text{ж}1}^{0\text{е}} = q_{\text{ж}1}^{0\text{отс выб}} = 0, \quad (4)$$

$$t_1^{\text{ж}} = t_1^{\Gamma} = t_1^{\Gamma\text{И}} = t_1^{\text{И}} = t_1^{\text{е}} = t_1^{\text{отс выб}} = 0, \quad (5)$$

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

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

$$\rho_1^{\text{ж}} = \rho_1^{\Gamma} = \rho_1^{\Gamma\text{И}} = \rho_1^{\text{И}} = \rho_1^{\text{е}} = \rho_1^{\text{отс выб}} = 0. \quad (7)$$

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

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

$$B_1^{\text{ж}} = B_1^{\Gamma} = B_1^{\Gamma\text{И}} = B_1^{\text{И}} = B_1^{\text{е}} = B_1^{\text{отс выб}} = 0, \quad (9)$$

$$H_1^{\text{ж}} = H_1^{\Gamma} = H_1^{\Gamma\text{И}} = H_1^{\text{И}} = H_1^{\text{е}} = H_1^{\text{отс выб}} = 0. \quad (10)$$

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

$$Q_2 = Q_{\text{ж}2}^0 = 0; \quad (11)$$

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

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

² 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.

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

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

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

$$q_2^{\text{ж}} = q_2^{\Gamma} = q_2^{\text{И}} = q_2^{\text{е}} = q_2^{\text{отс выб}} = q_{\text{ж}2}^{\text{о ж}} = q_{\text{ж}2}^{\text{о Г}} = q_{\text{ж}2}^{\text{о ГН}} = q_{\text{ж}2}^{\text{о И}} = q_{\text{ж}2}^{\text{о е}} = q_{\text{ж}2}^{\text{о отс выб}} = 0, \quad (14)$$

$$t_2^{\text{ГН}} = \min \left(\frac{(Q+Q_{\text{тр}})}{q_2^{\text{ГН}}}, t_{\text{отс}} + \frac{Q_{\text{тр}}}{q_2^{\text{ГН}}}, t_{\text{ликвид}} \right), \quad (15)$$

если известна масса опасного вещества в оборудовании Q , и

$$t_2^{\text{ГН}} = \min \left(\frac{\mu V_2 \cdot P_2}{R T_2 \cdot q_2^{\text{ГН}}} + \frac{Q_{\text{тр}}}{q_2^{\text{ГН}}}, t_{\text{отс}} + \frac{Q_{\text{тр}}}{q_2^{\text{ГН}}}, t_{\text{ликвид}} \right), \quad (16)$$

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

$$t_2^{\text{ж}} = t_2^{\Gamma} = t_2^{\text{И}} = t_2^{\text{е}} = t_2^{\text{отс выб}} = 0, \quad (17)$$

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

где $\rho_2 = \frac{\mu P_2}{R T_2}$ — плотность газообразного опасного вещества в оборудовании:

$$\rho_2^{\text{выб}} = \rho_2^{\text{ж}} = \rho_2^{\text{И}} = \rho_2^{\text{е}} = \rho_2^{\text{отс выб}} = 0. \quad (19)$$

При отсутствии данных о начальных размерах вторичного облака рекомендуется для прямоугольного сечения этого облака принимать его полуширину равной его высоте³:

$$H_2^{\text{ГН}} = B_2^{\text{ГН}} = \sqrt{\frac{q_2^{\text{ГН}}}{2\rho_2^{\text{ГН}} u_{\text{эфф}2}^{\text{ГН}}}}, \quad (20)$$

$$R_2 = B_2^{\text{ж}} = B_2^{\text{И}} = B_2^{\text{е}} = B_2^{\text{отс выб}} = 0, \quad (21)$$

³ 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 $u_{\text{эфф}2}^{\text{ГН}}$, которая вычисляется согласно формуле (182)

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

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

$$Q_3 = Q_3^{\Gamma} + Q_3^{\text{ж}} + Q_3^{\text{и}} + Q^{\Gamma}, \quad (23)$$

$$Q^{\Gamma} = \alpha \frac{\mu V_3 \cdot P_3}{R T_3}, \quad (24)$$

где α — объемная доля оборудования, заполненная газовой фазой (формула (24) применяется, если заранее неизвестна величина Q^{Γ}):

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

$$Q_3^{\text{ж}} = \min \{ Q_3^{\Gamma}, Q^{\text{ж}} - Q_3^{\Gamma} \}, \quad (26)$$

$$Q_{\text{жз}}^0 = Q_3^{\text{ж}}, \quad (27)$$

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

$$F = \min \left\{ \frac{Q^{\text{ж}} - Q_3^{\Gamma} - Q_3^{\text{ж}}}{K_{\text{пр}} \cdot \rho_{\text{ж}}}, F_{\text{обв}} \right\}^4, \quad (29)$$

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

$$\sqrt{t_{\text{кип}}} = \min \left\{ \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{кип}} + |T_{\text{п}} - T_{\text{кип}}|}{2 \Delta H_{\text{кип}}} \sqrt{\frac{\lambda_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{п}}}{\pi}} \frac{1}{\sqrt{\mu} 10^{-6} (5,38 + 4,1 \cdot u_{0 \text{эффз}}^{\text{и}}) p_{\text{н}}} \frac{F_{\text{конт}}}{F}, \sqrt{\frac{2\sqrt{F}}{u_{0 \text{эффз}}^{\text{и}}}} \right\}, \quad (30)$$

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

$$T_{\text{прив}} = \max \{ T_{\text{возд}}, T_{\text{прол}} \}, \quad (32)$$

$$T_{\text{прол}} = \begin{cases} T_{\text{кип}}, T_3 > T_{\text{кип}}, \\ T_3 \text{ в остальных случаях,} \end{cases} \quad (33)$$

$$q_3^{\text{и}} = F \sqrt{\mu} 10^{-6} (5,38 + 4,1 \cdot u_{0 \text{эффз}}^{\text{и}}) p_{\text{н}}^5, \quad (34)$$

⁴ При наличии достоверных исходных данных о геометрии и характеристиках поверхности, на которую происходит пролив, допускается задание иной площади пролива с приведением соответствующих обоснований.

⁵ 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 нумерованных формулах после формулы (56), допускается, при

$$q_3^{\text{ж}} = q_3^{\Gamma} = q_3^{\text{ГН}} = q_3^{\text{е}} = q_3^{\text{отс выб}} = q_{\text{жз}}^{\text{0ж}} = q_{\text{жз}}^{\text{0Г}} = q_{\text{жз}}^{\text{0ГН}} = q_{\text{жз}}^{\text{0И}} = q_{\text{жз}}^{\text{0е}} = q_{\text{жз}}^{\text{0отс выб}} = 0, \quad (35)$$

$$t_3^{\text{И}} = \frac{(Q - Q_3)}{q_3^{\text{И}}}, \quad (36)$$

$$t_3^{\text{ж}} = t_3^{\Gamma} = t_3^{\text{ГН}} = t_3^{\text{е}} = t_3^{\text{отс выб}} = 0, \quad (37)$$

$$\rho_3^{\text{выб}} = \begin{cases} \rho_{\text{кип}} \frac{Q_3}{Q_3^{\Gamma} + Q_3^{\text{И}} + Q^{\Gamma}}, T_3 > T_{\text{кип}} \text{ или } T_n > T_{\text{кип}}, \\ \frac{\mu P_3}{R T_3} \left(\frac{P_0}{P_3} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \text{ в остальных случаях,} \end{cases} \quad (38)$$

$$\rho_3^{\text{И}} = \begin{cases} \rho_{\text{кип}} = \rho(T_{\text{кип}}, P_0) = \frac{\mu P_0}{R T_{\text{кип}}}, \text{ при } T_3 > T_{\text{кип}} \text{ или } T_n > T_{\text{кип}}, \\ \frac{\mu P_0}{R T_3} \text{ в остальных случаях,} \end{cases}, \quad (39)$$

$$\rho_3^{\text{ж}} = \rho_3^{\Gamma} = \rho_3^{\text{ГН}} = \rho_3^{\text{е}} = \rho_3^{\text{отс выб}} = 0. \quad (40)$$

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:

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

$$B_3^{\text{И}} = 0,5\sqrt{F}, \quad (42)$$

$$H_3^{\text{И}} = q_3^{\text{И}} / (2 \cdot u_{\text{0эфф}3}^{\text{И}} \cdot B_3^{\text{И}} \cdot \rho_3^{\text{И}}), \quad (43)$$

$$B_3^{\text{ж}} = B_3^{\text{отс выб}} = B_3^{\Gamma} = B_3^{\text{ГН}} = B_3^{\text{е}} = 0, \quad (44)$$

$$H_3^{\text{ж}} = H_3^{\text{отс выб}} = H_3^{\Gamma} = H_3^{\text{ГН}} = H_3^{\text{е}} = 0. \quad (45)$$

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 $0,2 \cdot S_{\text{тр}}$, либо истечение происходит непосредственно из емкости, то расход определяется по формуле:

$$q_{\text{выб}} = 0,6 \cdot S \cdot \text{sign}(Q_H^{\text{ж}}) \times \sqrt{2 \cdot H \cdot g \cdot \rho_{\text{ж}}^2 + 2 \cdot \rho_{\text{ж}} (P_4 - p_n(T_4)) + \frac{1}{K} \frac{\Delta H_{\text{кип}}^2 \cdot \rho^2(T_4, p_n(T_4))}{C_p \cdot T_{\text{кип}}}}, \quad (46)$$

наличии достоверных данных, задание иных интенсивностей испарения с приведением соответствующих обоснований.

где

$$p_H(T_4) = P_0 \cdot \exp\left(\Delta H_{\text{кип}} \cdot \mu \frac{\left(\frac{1}{T_{\text{кип}}} - \frac{1}{T_4}\right)}{R}\right), \quad (46-1)$$

$$\rho(T_4, p_H(T_4)) = \frac{\mu p_H(T_4)}{R T_4} - \quad (46-2)$$

плотность газообразного опасного вещества при температуре T_4 и давлении $p_H(T_4)$;

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

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

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

В остальных случаях расход определяется по формуле:

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

В случае если истечение происходит через трубопровод и количество опасного вещества 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:

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

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

Под отсечением аварийного участка трубопровода (отсечением аварийного потока) понимается 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.

$$Q_4 = \min \left\{ Q_{\text{H}}^{\text{ж}} + Q_{\text{H}^{\text{тр}}}^{\text{ж}}, (q_4' + q_4'')t' + (q_4'_{\text{отс}} + q_4''_{\text{отс}})t'_{\text{отс}} + \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{кип}} + |T_{\text{п}} - T_{\text{кип}}|}{\Delta H_{\text{кип}}} \sqrt{\frac{\lambda_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{п}} F_{\text{конт}}^2}{\pi F'}} \sqrt{t_{\text{кип}}} \right\}, \quad (50)$$

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

$$Q_{24}^0 = \min \left\{ Q_{\text{H}}^{\text{ж}} + Q_{\text{H}^{\text{тр}}}^{\text{ж}} - Q_{\text{ж}4}^0, q' \cdot t' + q_4'_{\text{отс}} \cdot t'_{\text{отс}} + \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{кип}} + |T_{\text{п}} - T_{\text{кип}}|}{\Delta H_{\text{кип}}} \sqrt{\frac{\lambda_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{п}} F_{\text{конт}}^2}{\pi F'}} \sqrt{t_{\text{кип}}} \right\}, \quad (52)$$

$$\sqrt{t_{\text{кип}}} = \min \left\{ \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{кип}} + |T_{\text{п}} - T_{\text{кип}}|}{2 \cdot \Delta H_{\text{кип}}} \sqrt{\frac{\lambda_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{п}}}{\pi}} \frac{1}{\sqrt{\mu} \cdot 10^{-6} (5,38 + 4,1 \cdot u_{0\text{эфф}4}^0) p_{\text{н}}}, \sqrt{\frac{2\sqrt{F'}}{u_{0\text{эфф}4}^0}} \right\}, \quad (53)$$

$$F' = \frac{1}{0,05 \cdot \rho_{\text{ж}}} \left[(q_{\text{выб}} - q_4' - q_4'') \min \left\{ t', \frac{Q_{\text{H}}^{\text{ж}} + Q_{\text{H}^{\text{тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}} \right\} + (q_{\text{выб}}^{\text{отс}} - q_4'_{\text{отс}} - q_4''_{\text{отс}}) \min \left\{ t'_{\text{отс}}, \frac{Q_{\text{H}^{\text{отс.тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}^{\text{отс}}} \right\} \right], \quad (54)$$

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

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

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) $F_{\text{конт}} = F'$;

$$t'_{\text{исп}} = \frac{(q_{\text{выб}} - q'_4 - q''_4) \frac{Q_H^{\text{ж}} + Q_H^{\text{гр}}}{q_{\text{выб}}}}{F\sqrt{\mu}10^{-6} \left(5,38 + 4,1 \cdot u_{0\text{эф}\phi_4}^0 \right) p_H} \text{ при проливе в обвалование}$$

и

$$t'_{\text{исп}} = \frac{K_{\text{пр}} \cdot \rho_{\text{ж}}}{\sqrt{\mu}10^{-6} \left(5,38 + 4,1 \cdot u_{0\text{эф}\phi_4}^0 \right) p_H} \text{ при проливе на неограниченную}$$

поверхность;

$$t''_{\text{исп}} = \frac{(q_{\text{выб}} - q'_4 - q''_4) t_{\text{отс}} + (q_{\text{выб}}^{\text{отс}} - q'_{4\text{отс}} - q''_{4\text{отс}}) \frac{Q_H^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}^{\text{отс}}}}{F\sqrt{\mu}10^{-6} \left(5,38 + 4,1 \cdot u_{0\text{эф}\phi_4}^0 \right) p_H} \text{ при проливе в обвалование;}$$

и

$$t''_{\text{исп}} = \frac{K_{\text{пр}} \cdot \rho_{\text{ж}}}{\sqrt{\mu}10^{-6} \left(5,38 + 4,1 \cdot u_{0\text{эф}\phi_4}^0 \right) p_H} \text{ при проливе на неограниченную}$$

поверхность,

где $p_H = 760 \exp \left(\Delta H_{\text{кип}} \cdot \mu \left(\frac{1}{T_{\text{кип}}} - \frac{1}{T_{\text{прив}}} \right) / R \right)$ — давление насыщенных паров опасного вещества 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 формуле (33): $T_{\text{прол}} = T_{\text{кип}}$, при $T_4 > T_{\text{кип}}$ и $T_{\text{прол}} = T_4$ в противных случаях;

$$q_4^{\text{ж}} = \min \left\{ q_{\text{выб}}, q'_4 + q''_4 + F\sqrt{\mu}10^{-6} \left(5,38 + 4,1 \cdot u_{0\text{эф}\phi_4}^{\text{ж}} \right) p_H \right\}, \quad (57)$$

$$q'_4 = q_{\text{выб}} \left(1 - \exp \left(- \frac{c_p (T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|)}{2 \cdot \Delta H_{\text{кип}}} \right) \right), \quad (58)$$

$$q''_4 = q_{\text{ж}4}^{0\text{ж}} = \min \{ q'_4, q_{\text{выб}} - q'_4 \}, \quad (59)$$

$$q_4^{\text{отс выб}} = \min \left\{ q_{\text{выб}}^{\text{отс}}, q'_{4\text{отс}} + q''_{4\text{отс}} + F\sqrt{\mu}10^{-6} \left(5,38 + 4,1 u_{0\text{эф}\phi_4}^{\text{отс выб}} \right) p_H \right\}, \quad (60)$$

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

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

$$q_{\text{ж}4}^{0\text{Г}} = q_{\text{ж}4}^{0\text{ГИ}} = q_{\text{ж}4}^{0\text{И}} = q_{\text{ж}4}^{0\text{е}} = 0, \quad (63)$$

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

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

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

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

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

$$S_{\text{max}} = \min \left\{ S_{\text{обор}}, \frac{\rho_4^2 u_{0\text{эфф}4}^2 S}{(\sqrt{\mu} \cdot 5,38 \cdot 10^{-6} p_H)} \right\}, \quad (68)$$

$$t_4^{\text{жс}} = \min \left\{ \frac{Q_{H\text{жс}} + Q_{H\text{тр}}^{\text{жс}}}{q_{\text{выб}}} - t', t_{\text{отс}} - t' \right\}, \quad (69)$$

$$t_4^{\text{отс.выб}} = \min \left\{ t_{\text{ликвид}} - t'_{\text{отс}} - t_4^{\text{жс}} - t', \frac{Q_{\text{H}^{\text{отс.тр}}}^{\text{жс}}}{q_{\text{выб}}^{\text{отс}}} - t'_{\text{отс}} \right\}, \quad (70)$$

$$t_{\text{исп}} = \frac{q_{\text{выб}} \left(t_4^{\text{жс}} + \min \left\{ t', \frac{Q_{\text{H}}^{\text{жс}} + Q_{\text{H}^{\text{тр}}}^{\text{жс}}}{q_{\text{выб}}} \right\} \right)}{F\sqrt{\mu}10^{-6} \left(5,38 + 4,1u_{\text{эфф}4}^2 \right) p_{\text{H}}} +$$

$$+ \frac{q_{\text{выб}}^{\text{отс}} \left(t_4^{\text{отс.выб}} + \min \left\{ t'_{\text{отс}}, \frac{Q_{\text{H}^{\text{отс.тр}}}^{\text{жс}}}{q_{\text{выб}}^{\text{отс}}} \right\} \right) - Q_4 - q_4^{\text{жс}} t_4^{\text{жс}} - q_4^{\text{отс.выб}} t_4^{\text{отс.выб}}}{F\sqrt{\mu}10^{-6} \left(5,38 + 4,1u_{\text{эфф}4}^2 \right) p_{\text{H}}}.$$
(71)

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

$$F = \min \left\{ \frac{q_{\text{выб}} \left(t_4^{\text{жс}} + \min \left\{ t', \frac{Q_{\text{H}}^{\text{жс}} + Q_{\text{H}^{\text{тр}}}^{\text{жс}}}{q_{\text{выб}}} \right\} \right)}{0,05\rho_{\text{жс}}} + \frac{q_{\text{выб}}^{\text{отс}} \left(t_4^{\text{отс.выб}} + \min \left\{ t'_{\text{отс}}, \frac{Q_{\text{H}^{\text{отс.тр}}}^{\text{жс}}}{q_{\text{выб}}^{\text{отс}}} \right\} \right) - Q_4 - \min \{ q_{\text{выб}}, q_4' + q_4'' \} t_4^{\text{жс}} - \min \{ q_{\text{выб}}^{\text{отс}}, q_4^{\text{отс}} + q_4^{\text{отс}} \} t_4^{\text{отс.выб}}}{0,05\rho_{\text{жс}} F_{\text{обв}}}, \frac{\max \left\{ \frac{q_{\text{выб}} - q_4' - q_4''}{\sqrt{\mu}10^{-6} \left(5,38 + 4,1u_{\text{эфф}4}^2 \right) p_{\text{H}}}, \frac{q_{\text{выб}}^{\text{отс}} - q_4^{\text{отс}} - q_4^{\text{отс}}}{\sqrt{\mu}10^{-6} \left(5,38 + 4,1u_{\text{эфф}4}^2 \right) p_{\text{H}}} \right\}}{F_{\text{обв}}}, \right\}, \quad (72)$$

$$t_4^{\Gamma} = \begin{cases} \frac{\left(Q_{\text{отс}}^{\Gamma} + \min \{ Q_{\text{тр}^{\text{отс}}}^{\text{жс}}, (Q_{\text{тр}}^{\text{жс}} - Q_{\text{H}^{\text{тр}}}^{\text{жс}}) \} \left(1 - \exp \left(-\frac{C_p(T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|) \right) \right) \right)}{q_4^{\Gamma} - F\sqrt{\mu} \cdot 10^{-6} \left(5,38 + 4,1u_{\text{эфф}4}^{\Gamma} \right) p_{\text{H}}} + \\ + t_{\text{отс}} - t_4^{\text{жс}} - t_4^{\text{отс.выб}} - t'_{\text{отс}} - t' & \text{при } t_{\text{отс}} - t_4^{\text{жс}} - t_4^{\text{отс.выб}} - t'_{\text{отс}} - t' \leq t_{\text{отс}}^z, t_{\text{отс}} > t_4^{\text{жс}} + t_4^{\text{отс.выб}} + t'_{\text{отс}} + t' \\ \frac{\left(Q_{\text{отс}}^z + (Q_{\text{тр}}^{\text{жс}} - Q_{\text{H}^{\text{тр}}}^{\text{жс}}) \left(1 - \exp \left(-\frac{C_p(T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|) \right) \right) \right)}{q_4^z - F\sqrt{\mu} \cdot 10^{-6} \left(5,38 + 4,1 \cdot u_{\text{эфф}4}^z \right) p_{\text{H}}}, & t_{\text{отс}} \leq t_4^{\text{жс}} + t_4^{\text{отс.выб}} + t'_{\text{отс}} + t' \end{cases} \quad (73)$$

$$t_{\text{исп}}^{\Gamma} = \min \text{sum} (t_{\text{ликвид}}, t', t'_{\text{отс}}, t_4^{\text{отс.выб}}, t_4^{\text{жс}}),$$

$$t_{\text{отс}}^z = \frac{\left(Q^z + (Q_{\text{тр}}^{\text{жс}} + Q_{\text{H}^{\text{тр}}}^{\text{жс}} - Q_{\text{H}}^{\text{жс}} - Q_{\text{H}^{\text{тр}}}^{\text{жс}}) \left(1 - \exp \left(-\frac{C_p(T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|) \right) \right) \right)}{q_4^z - F\sqrt{\mu} \cdot 10^{-6} \left(5,38 + 4,1u_{\text{эфф}4}^z \right) p_{\text{H}}}, \quad (74)$$

$$t_4^{\Gamma\text{H}} = \min \begin{cases} \frac{\left(Q_{\text{отс}}^{\Gamma\text{H}} + \min \{ Q_{\text{тр}^{\text{отс}}}^{\text{жс}}, (Q_{\text{тр}}^{\text{жс}} - Q_{\text{H}^{\text{тр}}}^{\text{жс}}) \} \left(1 - \exp \left(-\frac{C_p(T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|) \right) \right) \right)}{q_4^{\Gamma\text{H}}} + \\ + t_{\text{отс}} - t_4^{\text{жс}} - t_4^{\text{отс.выб}} - t'_{\text{отс}} - t' - t_4^{\Gamma} & \text{при } t_{\text{отс}} - t_4^{\text{жс}} - t_4^{\text{отс.выб}} - t'_{\text{отс}} - t' - t_4^{\Gamma} \leq t_{\text{отс}}^{\Gamma\text{H}}, t_{\text{отс}} > t_4^{\text{жс}} + t_4^{\text{отс.выб}} + t'_{\text{отс}} + t' + t_4^{\Gamma} \\ \frac{\left(Q_{\text{отс}}^z + (Q_{\text{тр}}^{\text{жс}} - Q_{\text{H}^{\text{тр}}}^{\text{жс}}) \left(1 - \exp \left(-\frac{C_p(T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|) \right) \right) \right)}{q_4^{\Gamma\text{H}}}, & t_{\text{отс}} \leq t_4^{\text{жс}} + t_4^{\text{отс.выб}} + t'_{\text{отс}} + t' \end{cases} \quad (75)$$

$$t_{\text{отс}}^{\Gamma\text{H}} = t_{\text{отс}}^{\Gamma} - t_4^{\Gamma}, \quad (76)$$

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

$$+ \frac{q_{\text{выб}}^{\text{отс}} \left(t_4^{\text{отс. выб}} + \min \left\{ t'_{\text{отс. пр}}, \frac{Q_{H\text{отс. пр}}^{\text{жс}}}{q_{\text{выб}}^{\text{отс}}} \right\} \right) - Q_4 - q_4^{\text{жс}} \cdot t_4^{\text{жс}} - q_4^{\text{отс. выб}} \cdot t_4^{\text{отс. выб}} - q_4^z t_4^z}{F\sqrt{\mu}10^{-6} \left(5,38 + 4,1 \cdot u_{0\text{эфф}4}^u \right) p_n}, \quad (77)$$

$$t_4^e = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{(Q_{\text{тр}}^{\text{жс}} - Q_{H\text{тр}}^{\text{жс}} + Q^{\text{жс}} - Q_H^{\text{жс}})}{q_4^e} \times \\ \times \left(1 - \exp \left(- \frac{c_p(T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|)}{2\Delta H_{\text{кип}}} \right) \right) - t_4^z - t_4^{\text{ги}} - t_4^u, \\ \min \text{ sum} (t_{\text{ликвид}}, t', t'_{\text{отс}}, t_4^{\text{отс. выб}}, t_4^{\text{жс}}, t_4^z, t_4^{\text{ги}}, t_4^u) \end{array} \right\}, \quad (78)$$

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

$$\rho_4^{\text{жс}} = \begin{cases} \rho_{\text{кип}} \frac{q_4^{\text{жс}}}{\min(q_{\text{выб}} - q_4^u, q_4^u + F\sqrt{\mu}10^{-6} (5,38 + 4,1u_{0\text{эфф}4}^{\text{жс}}) p_n)}, \text{ при } T_4 > T_{\text{кип}} \text{ или } T_n > T_{\text{кип}} \\ \frac{\mu P_0}{R T_4}, \text{ в остальных случаях.} \end{cases}, \quad (80)$$

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

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

$$\text{где } \rho_4 = \frac{\mu P_4}{R T_4},$$

$$\rho_4^u = \rho_4^e = \begin{cases} \rho_{\text{кип}}, \text{ при } T_4 > T_{\text{кип}} \text{ или } T_n > T_{\text{кип}}, \\ \frac{\mu P_0}{R T_4}, \text{ в остальных случаях.} \end{cases} \quad (83)$$

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:

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

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

$$B_4^z = B_4^u = 0,5\sqrt{F}, \quad (87)$$

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

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

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

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

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

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

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

V. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ И ТОКСОДОЗ

20. Для условий, в которых происходит выброс, определяются характерный размер шероховатости поверхности $Z_{\text{пов}}$, класс устойчивости атмосферы, характеристика профиля ветра α_v , масштаб Монина-Обухова $L_{\text{мо}}$, динамическая скорость u_* , скорость подмешивания воздуха $u_{\text{подм}}^{\text{верх}}$ и коэффициент дисперсии в поперечном направлении σ_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 таблице № 7-3 приложения № 7 к 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 таблице № 7-4 приложения № 7 к 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 $z_{\text{пов}}$, класса устойчивости и скорости ветра u_{10} на высоте z_{10} определяется коэффициент $\alpha_{\text{в}}$ в соответствии с данными, приведенными в таблице № 7-5¹ приложения № 7 к Руководству.

При проведении расчетов первоначально рекомендуется выбирать $\alpha_{\text{в}}$ для высоты до 20 м (первое значение согласно таблице № 7-5 приложения № 7 к Руководству).

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

¹ При наличии достоверных исходных данных о характере изменения скорости ветра с высотой допускается задание иной величины $\alpha_{\text{в}}$ с приведением соответствующих обоснований.

24. Для характерного размера шероховатости $z_{\text{пов}}$ и выбранного класса устойчивости определяется масштаб Монина-Обухова $L_{\text{МО}}$. $L_{\text{МО}} = \infty$ для нейтральной устойчивости атмосферы (класс D). Для остальных условий устойчивости атмосферы масштаб Монина-Обухова определяется по формуле (94) с использованием данных, приведенных в таблице № 7-6 приложения № 7 к Руководству:

$$L_{\text{МО}} = k_L \cdot z_{\text{пов}}^p \quad (94)$$

25. Определяется динамическая скорость:

$$u_* = \frac{k \cdot u_{10}}{(\ln((z_{10} + z_{\text{пов}})/z_{\text{пов}}) - \phi)} \quad (95)$$

где ϕ задается исходя из класса устойчивости атмосферы согласно (96):

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

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

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:

$$u_{\text{подм}}^{\text{верх}} = \frac{k \cdot u_t}{\Phi(Ri_*)} \quad (97)$$

$$\Phi(Ri_*) = \begin{cases} \frac{(1+0,8 \cdot Ri_*)^{1/2}}{(1+\alpha_\theta)}, & Ri_* > 0 \\ \frac{(1-0,6 \cdot Ri_*)^{-1/2}}{(1+\alpha_\theta)}, & Ri_* \leq 0 \end{cases} \quad (97)$$

$$Ri_* = g \cdot \frac{(\rho_{\text{эфф}} - \rho_{\text{возд}})}{\rho_{\text{возд}}} \cdot \frac{H_{\text{эфф}}}{u_t^2} \quad (98)$$

где $u_t = \sqrt{u_*^2 + (b \cdot w_*)^2}$, $b=0,2$, $w_* = \left[\frac{g \cdot |E_{\text{пов}}| \cdot H_{\text{эфф}}}{\rho_{\text{эфф}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot C_{\text{эфф}}} \right]^{1/3}$, $E_{\text{пов}}$ – удельный

тепловой поток (от поверхности земли в облако), описываемый ниже по формулам (114) - (117) или (192) - (195).

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 – $\rho_{\text{эфф}_i}^l$, $H_{\text{эфф}_i}^l$, $T_{\text{эфф}_i}^l$, $E_{\text{пов}_i}^l$ и $C_{\text{эфф}_i}^l$.

27. Коэффициент дисперсии в поперечном направлении σ_y определяется по следующей формуле (100) с помощью данных, приведенных в таблице № 7-7 приложения № 7 к Руководству:

$$\sigma_y(x) = \delta \cdot x \cdot (1 + \gamma_y \cdot x)^{-1/2}, \quad (99)$$

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

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

Для первичного облака концентрация опасного вещества 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 переменных¹: $R_{эффi}, H_{эффi}, u_{эффi}, Q_{суммi}$:

$$R_{эффi} = \sqrt{r_i^2 + S_{yi}^2}, \quad (100)$$

$$H_{эффi} = \frac{1}{\beta} \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\beta}\right) \cdot S_{zi}, \quad (101)$$

$$u_{эффi} = \frac{\Gamma[(1+\alpha_s)/\beta]}{\Gamma[1/\beta]} \cdot u_{10} \cdot \left(\frac{S_{zi}}{z_{10}}\right)^{\alpha_s}, \quad (102)$$

$$Q_{суммi} = \pi \cdot R_{эффi}^2 \cdot H_{эффi} / V_{эффi}. \quad (103)$$

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

30. Распределение концентрации опасного вещества в облаке рекомендуется описывать зависимостями:

$$c_i^0(x, y, z, t) = c_{цi} \cdot \exp\left[-\left[\frac{z}{S_{zi}}\right]^\beta\right], \text{ при } (x - x_{цi})^2 + y^2 < r_i^2 \quad (104)$$

¹ В случае если величина $H_{эффi}$ меньше 0,5 м, то в формуле (102) для расчета $u_{эффi}$ используется величина S_{zi} , полученная по формуле (101) в предположении, что $H_{эффi} = 0,5 \text{ м}$.

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

$$(x - x_{yi})^2 + y^2 \geq r_i^2$$

31. Для определения пространственного распределения концентрации, профиль которой задан в пункте 30, с помощью вышеперечисленных параметров (пункт 29) используются следующие уравнения.

Сохранение массы выброшенного вещества Q_i :

$$Q_i = c_{yi} \cdot \pi \cdot R_{эфф_i}^2 \cdot H_{эфф_i}, \quad (106)$$

Изменение массы облака $Q_{сум_i}$:

$$\frac{d}{dt} [Q_{сум_i}] = \pi \cdot R_{эфф_i}^2 \cdot \rho_{возд} \cdot u_{подм}^{верх} + 2 \cdot \pi \cdot R_{эфф_i} \cdot H_{эфф_i} \cdot \rho_{возд} \cdot \gamma_{подм} \cdot \frac{d}{dt} [R_{эфф_i}]. \quad (107)$$

Гравитационное растекание облака:

$$\frac{d}{dt} [R_{эфф_i}] = u_{эфф_i} \frac{d}{dx} [R_{эфф_i}] = C_e \sqrt{g \cdot H_{эфф_i} \cdot \left[1 - \frac{\rho_{возд}}{\rho_{эфф_i}}\right]}. \quad (108)$$

Боковое рассеяние выброса за счет атмосферной диффузии:

$$\frac{d}{dt} [S_{yi}] = \frac{u_{эфф_i}}{S_{yi}} \cdot 2 \cdot (2/\pi)^{1/2} \cdot (r_i + 1/2 \cdot \pi^{1/2} \cdot S_{yi}) \cdot \frac{d}{dx} [\sigma_y], \text{ при} \quad (109)$$

$$r_i > 0.$$

или

$$S_{yi}(x) = 2^{1/2} \cdot \sigma_y(x + x_t), \text{ при } r_i = 0. \quad (110)$$

Сохранение энергии в облаке $E_{эфф_i}$:

$$\frac{d}{dt} [E_{эфф_i}] = \pi \cdot R_{эфф_i}^2 \cdot \rho_{возд} \cdot u_{подм}^{верх} \cdot e_{возд} + 2 \cdot \pi \cdot R_{эфф_i} \cdot H_{эфф_i} \cdot \rho_{возд} \cdot \gamma_{подм} \cdot \frac{d}{dt} [R_{эфф_i}] \cdot e_{возд} + \pi \cdot R_{эфф_i}^2 \cdot E_{пов_i}. \quad (111)$$

Способ расчета удельного теплового потока от подстилающей поверхности в облако $E_{пов_i}$ приведен в пункте 32.

Положение центра облака x_{yi} :

$$\frac{d}{dt} [x_{yi}] = u_{эфф_i}. \quad (112)$$

Величины $\rho_{эфф_i}$ ($V_{эфф_i}$) и $T_{эфф_i}$, используемые в вышеприведенных формулах, а также величина $Q_{жс_i}$ вычисляются согласно подходу, изложенному в приложении № 8 к Руководству.

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

$$E_{пов_i} = \begin{cases} \max[E_{пов. ест_i}, E_{пов. вын_i}], & T_{пов. рас} > T_{эфф_i} \\ E_{пов. вын_i}, & T_{пов. рас} \leq T_{эфф_i} \end{cases}, \quad (113)$$

$$E_{пов. вын_i} = 1.22 \cdot \left(\frac{u_*^2}{u_{10}}\right)^2 \cdot \rho_{эфф_i} \cdot C_{эфф_i} \cdot (T_{пов. рас} - T_{эфф_i}), \quad (114)$$

$$C_{эфф_i} = \frac{((Q_i - Q_{жс_i}) \cdot c_{p_{газ}} + Q_{жс_i} \cdot c_p + (Q_{сум_i} - Q_i) \cdot c_{p_{возд}})}{Q_{сум_i}}, \quad (115)$$

$$E_{пов. ест_i} = 3.5 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{(T_{пов. рас} - T_{эфф_i})^2}{0.5 \cdot (T_{пов. рас} + T_{эфф_i})}\right)^{2/3} \cdot \frac{P_0}{R} \cdot (g)^{1/3}. \quad (116)$$

Для длительных выбросов концентрация опасного вещества и размеры облаков при их рассеянии вычисляются по формулам (181)–(195).

33. Дрейф вторичного облака рассматривается для следующих шести стадий распространения выброса опасного вещества (согласно приложению № 5 к Руководству):

истечение жидкой фазы до отсечения аварийного участка;

истечение жидкой фазы 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 опасного вещества в шлейфе q_i^l и расход жидкой фазы в начальном сечении $q_{жi}^{0l}$:

$$q_i^ж, q_i^{отс\ выб}, q_i^г, q_i^{ги}, q_i^и, q_i^е, q_{жi}^{0ж}, q_{жi}^{0отс\ выб}, q_{жi}^{0г}, q_{жi}^{0ги}, q_{жi}^{0и}, q_{жi}^{0е},$$

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

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

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).

На ряде стадий на начальном участке истечения за счет наличия избыточного давления в оборудовании могут формироваться струевые потоки газа или двухфазной среды. Эти потоки имеют скорость отличную по величине и направлению от скорости ветра, величина этой скорости может достигать значительных величин, вплоть до звуковых скоростей. В таких струях за счет градиента скоростей генерируется сильная турбулентность, гораздо более интенсивная, чем атмосферная турбулентность. Соответственно в струях происходит подмешивание воздуха и разбавление. Струи газовой или двухфазной среды могут формироваться на следующих стадиях распространения выброса:

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

истечение жидкой фазы (в 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 из емкости при отсутствии пролива.

Для учета дополнительного смешения с воздухом рекомендуется рассматривать на этих стадиях два участка в длительном выбросе: струйный, характеризующийся разницей скорости потока на оси струи и скорости ветра, и шлейфовый, характеризующийся дрейфом облака в поле ветра. На обоих участках учитывается отрицательная плавучесть выброса.

Для расчета струевого участка выброса начальный диаметр струи на срезе отверстия разрушения полагается равным эффективному диаметру отверстия разрушения:

$$D = \sqrt{4S/\pi}. \quad (117)$$

Для расчета струевого участка выброса скорости выброса на срезе отверстия разрушения определяются следующим образом:

$$\rho_{2 \text{ ст}}^{\text{ГИ}} = \rho_2^{\text{ГИ}}, \quad (118)$$

$$\rho_{4 \text{ ст}}^{\text{Ж}} = \min\{q_{\text{выб}}, q'_4 + q''_4\} / (\min\{q_{\text{выб}} - q''_4, q'_4\}), \quad (119)$$

$$\rho_{4 \text{ ст}}^{\text{ОТС.ВЫБ}} = \min\{q_{\text{выб}}^{\text{ОТС}}, q'_4 \text{ ОТС} + q''_4 \text{ ОТС}\} / (\min\{q_{\text{выб}}^{\text{ОТС}} - q''_4 \text{ ОТС}, q'_4 \text{ ОТС}\}), \quad (120)$$

$$\rho_{4 \text{ ст}}^{\Gamma} = \rho_4^{\Gamma}, \quad (121)$$

$$\rho_{4 \text{ ст}}^{\text{ГИ}} = \rho_4^{\text{ГИ}}, \quad (122)$$

$$\rho_{4 \text{ ст}}^{\text{е}} = \rho_4^{\text{е}}. \quad (123)$$

Для расчета струевого участка выброса скорости выброса на срезе отверстия разрушения определяются следующим образом:

$$u_{2 \text{ ст}}^{\text{ГИ}} = q_{\text{выб}} / (S\rho_{2 \text{ ст}}^{\text{ГИ}}), \quad (124)$$

$$u_{4 \text{ ст}}^{\text{Ж}} = \min\{q_{\text{выб}}, q'_4 + q''_4\} / (S\rho_{4 \text{ ст}}^{\text{Ж}}), \quad (125)$$

$$u_{4 \text{ ст}}^{\text{ОТС.ВЫБ}} = \min\{u_{\text{выб}}^{\text{ОТС}}, q'_4 \text{ ОТС} + q''_4 \text{ ОТС}\} / (S\rho_{4 \text{ ст}}^{\text{ОТС.ВЫБ}}), \quad (126)$$

$$u_{4 \text{ ст}}^{\Gamma} = \left(q_4^{\Gamma} - (F\sqrt{\mu}10^{-6}(5,38 + 4,1u_{0 \text{эфф}4}^{\Gamma})p_{\text{Н}}) \right) / (S\rho_{4 \text{ ст}}^{\Gamma}), \quad (127)$$

$$u_{4 \text{ ст}}^{\text{ГИ}} = q_4^{\text{ГИ}} / (S\rho_{4 \text{ ст}}^{\text{ГИ}}), \quad (128)$$

$$u_{4 \text{ ст}}^{\text{е}} = q_4^{\text{е}} / (S\rho_{4 \text{ ст}}^{\text{е}}), \quad (129)$$

$$q_{4 \text{ ст}}^{\text{Ж}} = \min\{q_{\text{выб}}, q'_4 + q''_4\}, \quad (130)$$

$$q_{4 \text{ ст}}^{\text{ОТС.ВЫБ}} = \min\{u_{\text{выб}}^{\text{ОТС}}, q'_4 \text{ ОТС} + q''_4 \text{ ОТС}\}, \quad (131)$$

$$q_{4 \text{ ст}}^{\Gamma} = \left(q_4^{\Gamma} - (F\sqrt{\mu}10^{-6}(5,38 + 4,1u_{0 \text{эфф}4}^{\Gamma})p_{\text{Н}}) \right). \quad (132)$$

При рассмотрении отдельно струйного участка выброса для трех стадий выброса:

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

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

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

следует вместо рассчитанных выше по формулам (119)–(133) величин расхода, плотности, и размеров облака использовать другие значения этих величин, рассчитанные следующим образом величины:

$$\rho_4^{\text{ж}} = \rho_{\text{кип}}, \quad (133)$$

$$\rho_4^{\text{отс.выб}} = \rho_{\text{кип}}, \quad (134)$$

$$\rho_4^{\text{г}} = \rho_{\text{кип}}, \quad (135)$$

$$q_4^{\text{ж}} = F\sqrt{\mu}10^{-6}(5,38 + 4,1u_{0\text{эфф}4}^{\text{ж}})p_{\text{н}}, \quad (136)$$

$$q_4^{\text{отс.выб}} = F\sqrt{\mu}10^{-6}(5,38 + 4,1u_{0\text{эфф}4}^{\text{отс.выб}})p_{\text{н}}, \quad (137)$$

$$q_4^{\text{г}} = F\sqrt{\mu}10^{-6}(5,38 + 4,1u_{0\text{эфф}4}^{\text{г}})p_{\text{н}}, \quad (138)$$

$$B_4^{\text{отс.выб}} = B_4^{\text{ж}} = B_4^{\text{г}} = 0,5\sqrt{F}, \quad (139)$$

$$H_4^{\text{ж}} = q_4^{\text{ж}} / (2u_{0\text{эфф}4}^{\text{ж}} B_4^{\text{ж}} \rho_4^{\text{ж}}), \quad (140)$$

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

$$H_4^{\text{г}} = q_4^{\text{г}} / (2u_{0\text{эфф}4}^{\text{г}} B_4^{\text{г}} \rho_4^{\text{г}}). \quad (141)$$

Эти параметры по смыслу служат для описания рассеяния шлейфа от пролива.

Таким образом, в этом случае рассматриваются две области распространения опасного вещества: струя и шлейф от пролива. Шлейф от пролива «тяжелого» газа дрейфует по земле, струйный выброс изначально распространяется на некоторой высоте над землей, не касаясь ее поверхности.

Если струя в процессе своего распространения касается поверхности земли, то при разнице в скоростях струи и шлейфа менее 50%, рассеяние струи

и шлейфа рассматривается как рассеяние одного объединенного облака с параметрами в точке объединения:

$$b_4^{\text{ж}} = B_{\text{эфф ст 4}}^{\text{ж}} = \sqrt{0,25\pi D_{\text{эфф ст 4}}^{\text{ж}}{}^2}, \quad (142)$$

$$B_{\text{эфф 4}}^{\text{ж}} = \frac{B_{\text{эфф 4}}^{\text{ж}} q_{\text{сум 4}}^{\text{ж}} + B_{\text{эфф ст 4}}^{\text{ж}} q_{\text{ст 4}}^{\text{ж}}}{q_{\text{сум 4}}^{\text{ж}} + q_{\text{ст 4}}^{\text{ж}}}, \quad (143)$$

$$S_{y_4}^{\text{ж}} = \max\left(0, \frac{(B_{\text{эфф 4}}^{\text{ж}} - b_4^{\text{ж}})}{0,5\sqrt{\pi}}\right), \quad (144)$$

$$b_4^{\text{отс.выб}} = B_{\text{эфф ст 4}}^{\text{отс.выб}} = \sqrt{0,25\pi D_{\text{эфф ст 4}}^{\text{отс.выб}}{}^2}, \quad (145)$$

$$B_{\text{эфф 4}}^{\text{отс.выб}} = \frac{B_{\text{эфф 4}}^{\text{отс.выб}} q_{\text{сум 4}}^{\text{отс.выб}} + B_{\text{эфф ст 4}}^{\text{отс.выб}} q_{\text{ст 4}}^{\text{отс.выб}}}{q_{\text{сум 4}}^{\text{отс.выб}} + q_{\text{ст 4}}^{\text{отс.выб}}}, \quad (146)$$

$$S_{y_4}^{\text{отс.выб}} = \max\left(0, \frac{(B_{\text{эфф 4}}^{\text{отс.выб}} - b_4^{\text{отс.выб}})}{0,5\sqrt{\pi}}\right), \quad (147)$$

$$b_4^{\text{г}} = B_{\text{эфф ст 4}}^{\text{г}} = \sqrt{0,25\pi D_{\text{эфф ст 4}}^{\text{г}}{}^2}, \quad (148)$$

$$B_{\text{эфф 4}}^{\text{г}} = \frac{B_{\text{эфф 4}}^{\text{г}} q_{\text{сум 4}}^{\text{г}} + B_{\text{эфф ст 4}}^{\text{г}} q_{\text{ст 4}}^{\text{г}}}{q_{\text{сум 4}}^{\text{г}} + q_{\text{ст 4}}^{\text{г}}}, \quad (149)$$

$$S_{y_4}^{\text{г}} = \max\left(0, \frac{(B_{\text{эфф 4}}^{\text{г}} - b_4^{\text{г}})}{0,5\sqrt{\pi}}\right), \quad (150)$$

$$q_{\text{сум 4}}^{\text{ж}} = q_{\text{сум 4}}^{\text{ж}} + q_{\text{ст 4}}^{\text{ж}}, \quad (151)$$

$$q_{\text{сум 4}}^{\text{отс.выб}} = q_{\text{сум 4}}^{\text{отс.выб}} + q_{\text{ст 4}}^{\text{отс.выб}}, \quad (152)$$

$$q_{\text{сум 4}}^{\text{г}} = q_{\text{сум 4}}^{\text{г}} + q_{\text{ст 4}}^{\text{г}}, \quad (153)$$

$$q_{\text{ж 4}}^{\text{ж}} = q_{\text{ж ст 4}}^{\text{ж}}, \quad (154)$$

$$q_{\text{ж 4}}^{\text{отс.выб}} = q_{\text{ж ст 4}}^{\text{отс.выб}}, \quad (155)$$

$$q_{\text{ж 4}}^{\text{г}} = q_{\text{ж ст 4}}^{\text{г}}, \quad (156)$$

$$\rho_4^{\text{ж}} = \rho_4^{\text{ж}} + \rho_{\text{ст 4}}^{\text{ж}}, \quad (157)$$

$$\rho_4^{\text{отс.выб}} = \rho_4^{\text{отс.выб}} + \rho_{\text{ст 4}}^{\text{отс.выб}}, \quad (158)$$

$$\rho_4^{\text{г}} = \rho_4^{\text{г}} + \rho_{\text{ст 4}}^{\text{г}}, \quad (159)$$

$$H_4^{\text{ж}} = q_4^{\text{ж}} / (2u_{0\text{эфф 4}}^{\text{ж}} B_4^{\text{ж}} \rho_4^{\text{ж}}), \quad (160)$$

$$H_4^{\text{отс.выб}} = q_4^{\text{отс.выб}} / (2u_{0\text{эфф 4}}^{\text{отс.выб}} B_4^{\text{отс.выб}} \rho_4^{\text{отс.выб}}), \quad (161)$$

$$H_4^{\text{г}} = q_4^{\text{г}} / (2u_{0\text{эфф 4}}^{\text{г}} B_4^{\text{г}} \rho_4^{\text{г}}). \quad (162)$$

Таким образом, при учете в расчетах струйного участка в самом общем случае зона рассеяния длительного выброса состоит из трех областей:

струевой участок: от места разрушения до места оседания струи на землю и потери ей динамического импульса;

шлейфовый участок: от места пролива до места оседания струи на землю и потери ей динамического импульса;

объединенный шлейфовый участок: от места слияния осевшей на землю и потерявшей динамический импульс струи и шлейфа от пролива.

Вторичное облако-струя представляет собой цилиндрическую область с однородным распределением по радиусу в каждом сечении, представляющем собой круг в каждой плоскости секущей перпендикулярной к оси струи.

Состояние вторичного облака-струи в каждом поперечном сечении характеризуется следующими параметрами:

$$Q_{ст 2}^{ги}, Q_{ст 4}^{ж}, Q_{ст 4}^{отс.выб}, Q_{ст 4}^{\Gamma}, D_{ст 2}^{ги}, D_{ст 4}^{ж}, D_{ст 4}^{отс.выб}, D_{ст 4}^{\Gamma}, \rho_{ст 2}^{ги}, \rho_{ст 4}^{ж}, \rho_{ст 4}^{отс.выб}, \varphi_{ст 4}^{\Gamma}, \varphi_{ст 2}^{ги}, \varphi_{ст 4}^{ж}, \varphi_{ст 4}^{отс.выб}, \varphi_{ст 4}^{\Gamma}, U_{ст 2}^{ги}, U_{ст 4}^{ж}, U_{ст 4}^{отс.выб}, U_{ст 4}^{\Gamma}, E_{ст 2}^{ги}, E_{ст 4}^{ж}, E_{ст 4}^{отс.выб}, E_{ст 4}^{\Gamma}, H_{ст 2}^{ги}, H_{ст 4}^{ж}, H_{ст 4}^{отс.выб}, H_{ст 4}^{\Gamma}.$$

Кроме того, облако характеризуется такими параметрами, как $Q_{ст ж i}^l$, и $T_{ст i}^l$.

Для определения пространственного распределения концентрации длительных высокоскоростных двухфазных струй используются следующие уравнения:

изменения расхода в струе:

$$\begin{aligned} \frac{dq_{ст i}^l}{ds} &= \pi D_{ст i}^l \rho_{возд} \alpha^j \eta (\rho_{ст i}^l / \rho_{возд}) |U_{ст i}^l - U_{ветер} \cos(\varphi_{ст i}^l)| \\ &+ \pi D_{ст i}^l \rho_{возд} \beta^j U_{ветер} |\sin(\varphi_{ст i}^l)| \mu(\rho_{ст i}^l / \rho_{возд}, \varphi_{ст i}^l) \sqrt{U_{ветер} / U_{ст i}^l} \end{aligned} \quad (163)$$

где:

$$\eta(\rho_{ст i}^l / \rho_{возд}) = \begin{cases} \frac{1 + (4/3)(\rho_{ст i}^l / \rho_{возд} - 1)}{1 + (5/3)(\rho_{ст i}^l / \rho_{возд} - 1)}, & \rho_{ст i}^l > \rho_{возд} \\ 1, & \rho_{ст i}^l \leq \rho_{возд} \end{cases} \quad (164)$$

$$\alpha^j = 0,08$$

$$\mu(\rho_{ст i}^l / \rho_{возд}, \varphi_{ст i}^l) = [1 + \gamma^j \max(0, (\rho_{ст i}^l / \rho_{возд} - 1) \sin \varphi_{ст i}^l)]^{-1} \quad (165)$$

$$\beta^j = 0,6$$

$$\gamma^j = 7,5$$

сохранения энергии:

$$\frac{dE_{ст i}^l}{ds} = -q_{ст i}^l (dH_{возд}/dz + U_{ветер} dU_{ветер}/dz + g) \sin(\varphi_{ст i}^l) \quad (166)$$

сохранения импульса вдоль оси x:

$$\frac{dP_{x ст i}^l}{ds} = -q_{ст i}^l \sin(\varphi_{ст i}^l) dU_{ветер}/dz \quad (167)$$

сохранения импульса вдоль оси z (по высоте):

$$\frac{dP_{z ст i}^l}{ds} = -A^j (\rho_{ст i}^l - \rho_{возд}) g \quad (168)$$

координаты вдоль оси x (по ветру):

$$\frac{dx}{ds} = \cos(\varphi_{ст i}^l) \quad (169)$$

координаты вдоль оси z (по высоте):

$$\frac{dz}{ds} = \sin(\varphi_{ст i}^l) \quad (170)$$

времени:

$$\frac{dt}{ds} = \frac{1}{U_{ст i}^l} \quad (171)$$

Дополнительные характеристики струи рассчитываются по формулам:

определение угла наклона φ^j из определения потоков импульса:

$$P_{x ст i}^l = q_{ст i}^l (U_{ст i}^l \cos(\varphi_{ст i}^l) - U_{ветер}) \quad (172)$$

$$P_{z ст i}^l = q_{ст i}^l U_{ст i}^l \sin(\varphi_{ст i}^l) \quad (173)$$

$$\frac{P_{x ст i}^l}{q_{ст i}^l} - U_{ветер} = U_{ст i}^l \cos(\varphi_{ст i}^l) \quad (174)$$

$$\frac{P_{z \text{ ст } i}^l}{q_{\text{ст } i}^l} = U_{\text{ст } i}^l \sin(\varphi_{\text{ст } i}^l) \quad (175)$$

$$(P_{x \text{ ст } i}^l - q_{\text{ст } i}^l U_{\text{ветер}}) / P_{z \text{ ст } i}^l = \text{ctg}(\varphi_{\text{ст } i}^l) \quad (176)$$

определение скорости на оси струи U^j из определения потоков импульса

$$\frac{P_{z \text{ ст } i}^l}{q_{\text{ст } i}^l \sin(\varphi_{\text{ст } i}^l)} = U_{\text{ст } i}^l \quad (177)$$

определение энтальпии H^j из потока энергии:

$$H_{\text{ст } i}^l = \frac{E_{\text{ст } i}^l}{q_{\text{ст } i}^l} + H_{\text{возд}} + (U_{\text{ветер}} \cdot U_{\text{ветер}}) / 2 - (U_{\text{ст } i}^l \cdot U_{\text{ст } i}^l) / 2 \quad (178)$$

Расход жидкой фазы в струе и температура $q_{\text{ст ж } i}^l$, и $T_{\text{ст } i}^l$ определяются по соответствующим соотношениям (согласно приложению № 8 к Руководству).

Параметры газовой фазы в струе, необходимые для расчетов, определяются следующим образом:

определение массовых долей опасного вещества $Y_{\text{ов}}$ и воздуха $Y_{\text{возд}}$ в газовой фазе струи:

$$Y_{\text{ов}} = \frac{q_{i \text{ ст}}^l - q_{\text{ст ж } i}^l}{q_{\text{ст } i}^l}, Y_{\text{возд}} = 1 - Y_{\text{ов}} \quad (178-1)$$

определение молярной массы μ смеси газов в струе:

$$\frac{1}{\mu} = Y_{\text{возд}} \frac{1}{\mu_{\text{возд}}} + Y_{\text{ов}} \frac{1}{\mu_{\text{ов}}} \quad (178-2)$$

определение мольных долей опасного вещества $M_{\text{ов}}$ и воздуха $M_{\text{возд}}$ в газовой фазе струи:

$$M_{\text{ов}} = \frac{(q_{i \text{ ст}}^l - q_{\text{ст ж } i}^l) / \mu_{\text{ов}}}{q_{\text{ст } i}^l / \mu}, M_{\text{возд}} = 1 - M_{\text{ов}} \quad (178-3)$$

определение мольных теплоемкостей газовой фазы смеси C_p , C_v в струе:

$$\begin{aligned} C_{V_{\text{мол}}} &= M_{\text{ов}} \cdot C_{V_{\text{мол}_{\text{ов}}}} + M_{\text{возд}} \cdot C_{V_{\text{мол}_{\text{возд}}}} \\ C_{p_{\text{мол}}} &= M_{\text{ов}} \cdot C_{p_{\text{мол}_{\text{ов}}}} + M_{\text{возд}} \cdot C_{p_{\text{мол}_{\text{возд}}}} \end{aligned} \quad (178-4)$$

определение показателя адиабаты γ газовой смеси в струе:

$$\gamma = \frac{C_{p_{\text{мол}}}}{C_{V_{\text{мол}}}} \quad (178-5)$$

определение площади A (диаметра D) по определению расхода:

$$q_{\text{ст } i}^l = 0,25 \cdot \pi \cdot D_{\text{ст } i}^l{}^2 \cdot \rho_{\text{ст } i}^l \cdot U_{\text{ст } i}^l = A_{\text{ст } i}^l \cdot \rho_{\text{ст } i}^l \cdot U_{\text{ст } i}^l \quad (179)$$

Расчет по модели струевого выброса проводится:

либо до касания струей поверхности земли и падения разницы скоростей между струей и ветром до уровня 50%; (при касании поверхности земли, но существовании разницы в скоростях потока в струе и ветра более 50% рассматривается дальнейшее струевое течение вдоль поверхности земли с условием касания нижней кромки струи поверхности земли, пока разность означенных скоростей не достигнет 50%); далее струевой выброс объединяется с шлейфом от пролива и расчет проводится для дрейфа объединенного шлейфа;

либо, если выброс не касается поверхности земли, до достижения разницы в горизонтальной составляющей скорости струи и ветра в 10%; далее рассматривается рассеяние выброса только за счет атмосферной диффузии.

Состояние вторичного облака в каждом поперечном сечении характеризуется следующими параметрами:

$$c_{цi}^l; S_{zi}^l; S_{yi}^l; b_i^l; E_{эффi}^l; x_{пi}^l, x_{эi}^l, q_{жi}^l.$$

Кроме того, облако характеризуется такими параметрами, как $\rho_{эффi}^l$ ($V_{эффi}^l$) и $T_{эффi}^l$. Они дополняются еще четырьмя: $B_{эффi}^l$, $H_{эффi}^l$, $u_{эффi}^l$, $q_{сумi}^l$, — которые рассчитываются на основе введенных выше переменных по формулам (181)–(184)¹:

$$B_{эффi}^l = b_i^l + 0,5 \cdot \sqrt{\pi} \cdot S_{yi}^l, \quad (180)$$

$$H_{эффi}^l = \frac{1}{\beta} \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\beta}\right) \cdot S_{zi}^l, \quad (181)$$

$$u_{эффi}^l = \frac{\Gamma[(1+\alpha_s)/\beta]}{\Gamma[1/\beta]} \cdot u_{10} \cdot \left(\frac{S_{zi}^l}{z_{10}}\right)^{\alpha_s}, \quad (182)$$

$$q_{сумi}^l = 2 \cdot B_{эффi}^l \cdot H_{эффi}^l \cdot u_{эффi}^l / V_{эффi}^l. \quad (183)$$

Схема шлейфа изображена на рисунке 3-2 приложения № 3 к Руководству.

¹ В случае если величина $H_{эффi}^l$ меньше 0,5 м, то в формуле (182) для расчета $u_{эффi}^l$ используется величина S_{zi}^l , полученная по формуле (181) в предположении, что $H_{эффi}^l = 0,5$ м.

34. Распределение концентрации опасного вещества во вторичном облаке описывается зависимостями:

$$c_i^l(x, y, z) = c_{ц_i}^l \cdot \exp \left[- \left[\frac{z}{s_{zi}^l} \right]^\beta \right], \text{ при } |y| < b_i^l \text{ и } x_{3i}^l < x < x_{ni}^l, \quad (184)$$

$$c_i^l(x, y, z) = c_{ц_i}^l \cdot \exp \left[- \left[\frac{z}{s_{zi}^l} \right]^\beta \right] \cdot \exp \left[- \left[\frac{|y| - b_i^l}{s_{yi}^l} \right]^2 \right], \text{ при } |y| \geq b_i^l \text{ и } x_{3i}^l < x < x_{ni}^l, \quad (185)$$

При $x_{п_i}^l < x$ или $x < x_{3i}^l$ $c_i^l(x, y, z) = 0$

35. Для определения пространственного распределения концентрации, профиль которой задан в пункте 34, с помощью вышеперечисленных параметров (пункт 33) используются следующие уравнения:

Сохранение массы выброшенного вещества q_i^l :

$$q_i^l = 2 \cdot c_{ц_i}^l \cdot B_{эфф_i}^l \cdot H_{эфф_i}^l \cdot u_{эфф_i}^l \quad (186)$$

Изменение расхода в шлейфе $q_{сум_i}^l$:

$$\frac{d}{dx} [q_{сум_i}^l] = 2 \cdot B_{эфф_i}^l \cdot \rho_{возд} \cdot u_{подм}^{верх} + 2 \cdot H_{эфф_i}^l \cdot \rho_{возд} \cdot \gamma_{подм} \cdot \frac{d}{dt} [B_{эфф_i}^l]. \quad (187)$$

Гравитационное растекание облака:

$$\frac{d}{dx} [B_{эфф_i}^l] = \frac{c_e}{u_{эфф_i}^l} \sqrt{g \cdot H_{эфф_i}^l \cdot \left[1 - \frac{\rho_{возд}}{\rho_{эфф_i}^l} \right]}. \quad (188)$$

Боковое рассеяние выброса за счет атмосферной диффузии:

$$\frac{d}{dx} [E_{эфф_i}^l] = 2 \cdot B_{эфф_i}^l \cdot \rho_{возд} \cdot u_{подм}^{верх} \cdot e_{возд} + 2 \cdot H_{эфф_i}^l \cdot \rho_{возд} \cdot \gamma_{подм} \cdot \frac{d}{dt} [B_{эфф_i}^l] \cdot e_{возд} + 2 \cdot B_{эфф_i}^l \cdot E_{пов_i}^l \quad (189)$$

Способ расчета удельного теплового потока $E_{пов_i}^l$ приведен в пункте 36.

Положение переднего края облака x_{ni}^l определяют по формулам:

$$\begin{cases} x_{ni}^l = 0, \text{ при } t < \sum_{j=1}^{l-1} t_i^j, \\ \frac{d}{dt} [x_{ni}^l] = u_{\text{эфф}i}^l, \text{ для } x_{ni}^l \left(\sum_{j=1}^{l-1} t_i^j \right) = 0, \text{ при } t \geq \sum_{j=1}^{l-1} t_i^j. \end{cases} \quad (190)$$

Величины $\rho_{\text{эфф}i}^l$ ($V_{\text{эфф}i}^l$) и $T_{\text{эфф}i}^l$, используемые в вышеприведенных формулах, а также величина $q_{\text{жс}i}^l$ вычисляются согласно подходу, изложенному в приложении № Приложение №.

36. Определение удельного теплового потока проводится по следующим формулам:

$$E_{\text{пов}i}^l = \begin{cases} \max[E_{\text{пов.ест}i}^l, E_{\text{пов.вын}i}^l], T_{\text{пов.рас}} > T_{\text{эфф}i}^l, \\ E_{\text{пов.вын}i}^l, T_{\text{пов.рас}} \leq T_{\text{эфф}i}^l, \end{cases} \quad (191)$$

$$E_{\text{пов.вын}i}^l = 1.22 \cdot \left(\frac{u_*^2}{u_{10}} \right)^2 \cdot \rho_{\text{эфф}i}^l \cdot C_{\text{эфф}i}^l \cdot (T_{\text{пов.рас}} - T_{\text{эфф}i}^l), \quad (192)$$

$$C_{\text{эфф}i}^l = \frac{\left((q_i^l - q_{\text{жс}i}^l) \cdot C_{p_{\text{газ}}} + q_{\text{жс}i}^l \cdot C_p + (q_{\text{сум}i}^l - q_i^l) \cdot C_{p_{\text{возд}}} \right)}{q_{\text{сум}i}^l}, \quad (193)$$

$$E_{\text{пов.ест}i}^l = 3.5 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{(T_{\text{пов.рас}} - T_{\text{эфф}i}^l)^2}{0.5 \cdot (T_{\text{пов.рас}} + T_{\text{эфф}i}^l)} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{P_0}{R} \cdot (g)^{\frac{1}{3}}. \quad (194)$$

37. Концентрация опасного вещества в точке в момент времени t при i -ом сценарии рекомендуется определять по формуле:

$$c_i(x, y, z, t) = c_i^0(x, y, z, t) + c_i^{\text{жс}}(x, y, z, t) + c_i^{\text{отс.выб}}(x, y, z, t) + c_i^2(x, y, z, t) + c_i^{\text{ГН}}(x, y, z, t) + c_i^{\text{н}}(x, y, z, t) + c_i^e(x, y, z, t), \quad (195)$$

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

$$c_i^{max}(x, y, z) = \max_t (c_i(x, y, z, t)). \quad (196)$$

39. Путем интегрирования по времени концентрации $c_i(x, y, z, t)$ определяется поле токсодозы $D_i(x, y, z)$, а также распределение максимальной токсодозы, достигаемой на заданном расстоянии от места выброса $D(x)_{imax}$. Максимальная токсодоза для заданного расстояния за все время экспозиции, т.е. время, за которое набирается ингаляционная токсодоза (верхний предел интегрирования концентрации опасного вещества по времени в формуле расчета токсодозы), 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, $D_{imax}^{0(x)}$ и $D_{imax}^{l(x)}$.

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

$$Pr = a_{Pr} + b_{Pr} \cdot \ln \left(\int_{t_{np}}^{t_{экс}} (c_i(x, y, z, t))^{n_{Pr}} dt \right). \quad (197)$$

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 ($\Sigma_{ВКПР}$) и 0,5 НКПР ($\Sigma_{0.5НКПР}$).

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

$$c_{\text{ВКПВ}} = c_i^0(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{ЖС}}(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{ОТС. ВЫБ}}(x, y, z, t_0) + c_i^2(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{ГН}}(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{У}}(x, y, z, t_0) + c_i^e(x, y, z, t_0). \quad (198)$$

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

$$0,5c_{\text{НКПВ}} = c_i^0(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{ЖС}}(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{ОТС. ВЫБ}}(x, y, z, t_0) + c_i^2(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{ГН}}(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{У}}(x, y, z, t_0) + c_i^e(x, y, z, t_0). \quad (199)$$

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 0,5 НКПР.

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

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

$$0,5c_{\text{НКПВ}} = c_i(x, y, z_0, t_0) + c_i^{\text{ЖС}}(x, y, z_0, t_0) + c_i^{\text{ОТС. ВЫБ}}(x, y, z_0, t_0) + c_i^2(x, y, z_0, t_0) + c_i^{\text{ГН}}(x, y, z_0, t_0) + c_i^{\text{У}}(x, y, z_0, t_0) + c_i^e(x, y, z_0, t_0). \quad (200)$$

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

$$0,5c_{\text{НКПВ}} = c_i(x_0, y, z, t_0) + c_i^{\text{ЖС}}(x_0, y, z, t_0) + c_i^{\text{ОТС. ВЫБ}}(x_0, y, z, t_0) + c_i^2(x_0, y, z, t_0) + c_i^{\text{ГН}}(x_0, y, z, t_0) + c_i^{\text{У}}(x_0, y, z, t_0) + c_i^e(x_0, y, z, t_0). \quad (201)$$

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

$$0,5c_{\text{НКПВ}} = c_i(x, y_0, z, t_0) + c_i^{\text{ЖС}}(x, y_0, z, t_0) + c_i^{\text{ОТС. ВЫБ}}(x, y_0, z, t_0) + c_i^2(x, y_0, z, t_0) + c_i^{\text{ГН}}(x, y_0, z, t_0) + c_i^{\text{У}}(x, y_0, z, t_0) + c_i^e(x, y_0, z, t_0). \quad (202)$$

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 (201)–(203), за все моменты времени t_0 существования в пространстве концентраций выше 0,5 НКПР.

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:

$$Q_{\text{вз}} = \iiint_{V_{\text{вз}}} c(x, y, z, t_0) dx dy dz \quad (203)$$

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

Если в результате расчета по формуле (204) 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 по безопасности
«Методика моделирования
распространения аварийных выбросов
опасных веществ», утвержденному
приказом Ростехнадзора
от «02» ноября 2022 г. № 385

Список сокращений и обозначений

В Руководстве по безопасности используются следующие обозначения и сокращения:

ВКПР	верхний концентрационный предел распространения пламени;
НКПР	нижний концентрационный предел распространения пламени;
ОПО	опасный производственный объект;
B_i^l	полуширина начального сечения вторичного облака, образующегося на 1-ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $B_i^l = B_i^ж, B_i^{отс\ выб}, B_i^г, B_i^{гн}, B_i^и, B_i^e$), м;
$B_{эфф\ i}^l$	эффективная полуширина вторичного облака, образующегося на 1-ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $B_{эфф\ i}^l = B_{эфф\ i}^ж, B_{эфф\ i}^{отс\ выб}, B_{эфф\ i}^г, B_{эфф\ i}^{гн}, B_{эфф\ i}^и, B_{эфф\ i}^e$), м;
$B_{эфф\ ст\ i}^l$	эффективная полуширина вторичного облака, образующегося на 1-ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии от струевого истечения, м;
C_e	коэффициент, используемый при расчете скорости гравитационного растекания, равен 1,15;
C_p	теплоемкость жидкого опасного вещества, Дж/кг/К;
$C_{p\ \text{возд}}$	теплоемкость воздуха при постоянном давлении, Дж/кг/К;
$C_{p\ \text{газ}}$	теплоемкость газообразного опасного вещества, Дж/кг/К;
C_v	теплоемкость газообразного опасного вещества, Дж/кг/К;
$C_{v\ \text{возд}}$	теплоемкость воздуха при постоянном объеме, Дж/кг/К;
$C_{эфф\ i}$	эффективная теплоемкость вещества в первичном облаке в i -ом сценарии, Дж/кг/К;
$C_{эфф\ i}^l$	эффективная теплоемкость вещества во вторичном облаке, образующемся на 1-ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом

- сценарии (при различных l $C_{эфф\ i}^l = C_{p_i}^{ж}, C_{p_i}^{отс\ выб}, C_{p_i}^{\Gamma}, C_{p_i}^{ги}, C_{p_i}^{и}, C_{p_i}^e$), Дж/кг/К;
- D_i ингаляционная токсодоза за рассматриваемое время экспозиции в некоторой точке в i -ом сценарии, кг·с/м³;
- D_i^0 составляющая ингаляционной токсодозы за рассматриваемое время экспозиции в некоторой точке при рассеянии первичного облака в i -ом сценарии, кг·с/м³;
- D_i^l составляющая ингаляционной токсодозы за рассматриваемое время экспозиции в некоторой точке при рассеянии вторичного облака, образующегося на l -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $D_i^l = D_i^{ж}, D_i^{отс\ выб}, D_i^{\Gamma}, D_i^{ги}, D_i^{и}, D_i^e$), кг·с/м³;
- $D_{i\ max}$ ингаляционная токсодоза в некоторой точке на оси $y = 0, z = 0$ за рассматриваемое время экспозиции в i -ом сценарии, кг·с/м³;
- $D_{i\ max}^0$ составляющая ингаляционной токсодозы в некоторой точке на оси $y = 0, z = 0$ за рассматриваемое время экспозиции при рассеянии первичного облака в i -ом сценарии, кг·с/м³;
- $D_{i\ max}^l$ составляющая ингаляционной токсодозы за рассматриваемое время экспозиции в некоторой точке на оси $y = 0, z = 0$ при рассеянии вторичного облака, образующегося на l -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $D_{i\ max}^l = D_{i\ max}^{ж}, D_{i\ max}^{отс\ выб}, D_{i\ max}^{\Gamma}, D_{i\ max}^{ги}, D_{i\ max}^{и}, D_{i\ max}^e$), кг·с/м³;
- $D_{эфф\ ст\ i}^l$ диаметр струи на l -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии от струевого истечения, м;
- $D_{тр}$ диаметр трубопровода, м;
- D начальный диаметр струи на срезе отверстия разрушения, м;
- $E_{пов\ i}$ удельный тепловой поток от подстилающей поверхности в первичное облако в i -ом сценарии, Дж/м²;
- $E_{пов\ i}^l$ удельный тепловой поток от подстилающей поверхности во вторичное облако, образующееся на l -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $E_{пов\ i}^l = E_{пов\ i}^{ж}, E_{пов\ i}^{отс\ выб}, E_{пов\ i}^{\Gamma}, E_{пов\ i}^{ги}, E_{пов\ i}^{и}, E_{пов\ i}^e$), Дж/м²/с;
- $E_{пов\ вын\ i}$ удельный тепловой поток за счет вынужденной конвекции от подстилающей поверхности в первичное облако в i -ом сценарии, Дж/м²;
- $E_{пов\ вын\ i}^l$ удельный тепловой поток за счет вынужденной конвекции от подстилающей поверхности во вторичное облако, образующееся на l -ой стадии поступления опасного вещества

	в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $E_{\text{пов вын } i}^l = E_{\text{пов вын } i}^{\text{ж}}$, $E_{\text{пов вын } i}^{\text{отс выб}}$, $E_{\text{пов вын } i}^{\text{г}}$, $E_{\text{пов вын } i}^{\text{ги}}$, $E_{\text{пов вын } i}^{\text{и}}$, $E_{\text{пов вын } i}^{\text{е}}$), Дж/м ² /с;
$E_{\text{пов ест } i}$	удельный тепловой поток за счет естественной конвекции от подстилающей поверхности в первичное облако в i -ом сценарии, Дж/м ² ;
$E_{\text{псв ест } i}^l$	удельный тепловой поток за счет естественной конвекции от подстилающей поверхности во вторичное облако, образующееся на l -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $E_{\text{пов ест } i}^l = E_{\text{пов ест } i}^{\text{ж}}$, $E_{\text{пов ест } i}^{\text{отс выб}}$, $E_{\text{пов ест } i}^{\text{г}}$, $E_{\text{пов ест } i}^{\text{ги}}$, $E_{\text{пов ест } i}^{\text{и}}$, $E_{\text{пов ест } i}^{\text{е}}$), Дж/м ² /с;
$E_{\text{эфф } i}$	эффективная внутренняя энергия в первичном облаке в i -ом сценарии, Дж;
$E_{\text{эфф } i}^l$	эффективный поток внутренней энергии во вторичном облаке, образующемся на l -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $E_{\text{эфф } i}^l = E_{\text{эфф } i}^{\text{ж}}$, $E_{\text{эфф } i}^{\text{отс выб}}$, $E_{\text{эфф } i}^{\text{г}}$, $E_{\text{эфф } i}^{\text{ги}}$, $E_{\text{эфф } i}^{\text{и}}$, $E_{\text{эфф } i}^{\text{е}}$), Дж/с;
$E_{\text{ст } i}^l$	поток внутренней энергии во вторичном облаке, образующемся на l -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии при струевом истечении, Дж/с;
E_j	расход энергии вдоль оси струи, Дж·с ⁻¹ ;
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;
H_i	высота первичного облака опасного вещества в начальный момент времени (на месте выброса) в i -ом сценарии, м;
$H_{\text{эфф } i}$	эффективная высота первичного облака в i -ом сценарии, м;
$H_{\text{эфф } i}^l$	эффективная высота вторичного облака, образующегося на l -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом

	сценарии (при различных l $H_{эфф\ i}^l = H_{эфф\ i}^{ж}$, $H_{эфф\ i}^{отс\ выб}$, $H_{эфф\ i}^г$, $H_{эфф\ i}^{гн}$, $H_{эфф\ i}^{и}$, $H_{эфф\ i}^e$), м;
H_i^l	высота начального сечения вторичного облака, образующегося на 1-ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $H_i^l = H_i^{ж}$, $H_i^{отс\ выб}$, $H_i^г$, $H_i^{гн}$, $H_i^{и}$, H_i^e), м;
$H_{ст\ i}^l$	высота начального сечения вторичного облака, образующегося на 1-ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом при струевом истечении, м;
$H_{тр}^{отс}$	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;
H_j	энтальпия в струе, Дж·кг ⁻¹ ;
K	безразмерная вспомогательная величина, зависящая от длины участка трубопровода L от входа до места разгерметизации;
$K_{пр}$	высота пролива; принимается согласно приказу МЧС России от 10.07.2009 № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах», зарегистрированному Минюстом России 17.08.2009 № 14541, равной 0,2 м при проливе на неспланированную грунтовую поверхность, 0,05 м при проливе на спланированное грунтовое покрытие и 0,007 м проливе на бетонное или асфальтовое покрытие;
L	длина участка трубопровода от его начала до места разгерметизации, м;
LMO	масштаб Монины - Обухова, м;
$LCt50$	смертельная токсодоза, мг·мин/л;
P_i	давление в оборудовании в i -ом 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;
P_{xj}	расход поступившего в поток струи импульса по оси x , кг·м·с ⁻² ;
P_{zj}	расход поступившего в поток струи импульса по оси z , кг·м·с ⁻² ;
$PSt50$	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 отсечение аварийного участка, не включает массу в отсекаемом участке аварийного трубопровода, кг;
- Q^g масса газообразного опасного вещества в оборудовании, кг;
- $Q^ж$ масса жидкого опасного вещества в оборудовании (при истечении из трубопровода с насосом на входе равно $Q_H^{жс}$), кг;
- Q_3^g масса опасного вещества, переходящая в газовую фазу в первичное облако при мгновенном вскипании перегретого опасного вещества в сценарии 3, кг;
- $Q_3^{жс}$ 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 -ом сценарии, кг;
- $Q_i^{разб}$ масса воздуха, подмешиваемого в первичное облако в i -ом 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 $Q_H^{жс}$ включает и массу жидкости в трубопроводе от емкости до начала отсекаемого аварийного участка;
- $Q_H^{жс\ отс\ тр}$ 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;
- $Q_H^{жс\ тр}$ 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 -ом сценарии, кг;
- $Q_{жi}^0$ масса опасного вещества, находящаяся в первичном облаке в жидкой фазе (каплях) в i -ом сценарии в начальный момент (на месте выброса), кг;
- $Q_{отс}^2$ 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 -ом 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;
- $Q_{тр}^{жк}$ 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;
- $Q_{тротс}^{жк}$ 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 -ом сценарии, м;
- $R_{эфф i}$ - эффективный радиус первичного облака в i -ом сценарии, м;
- Ri_* число Ричардсона;

S	площадь аварийного отверстия, м ² ;
S_{\max}	эффективная площадь эмиссии из разгерметизированного оборудования, м ² ;
S_{y_i}	горизонтальная дисперсия при рассеянии первичного облака в i -ом сценарии, м;
$S_{y_i}^l$	горизонтальная дисперсия при рассеянии вторичного облака, образующегося на l -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $S_{y_i}^l = S_{y_i}^{\text{ж}}, S_{y_i}^{\text{отс выб}}, S_{y_i}^{\text{г}}, S_{y_i}^{\text{ги}}, S_{y_i}^{\text{и}}, S_{y_i}^{\text{е}}$), м;
S_{z_i}	вертикальная дисперсия при рассеянии первичного облака в i -ом сценарии, м;
$S_{z_i}^l$	вертикальная дисперсия при рассеянии вторичного облака, образующегося на l -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $S_{z_i}^l = S_{z_i}^{\text{ж}}, S_{z_i}^{\text{отс выб}}, S_{z_i}^{\text{г}}, S_{z_i}^{\text{ги}}, S_{z_i}^{\text{и}}, S_{z_i}^{\text{е}}$), м;
$S_{\text{обор}}$	максимальная площадь поверхности жидкости внутри оборудования, м ² ;
$S_{\text{тр}}$	площадь поперечного сечения трубопровода, м ² ;
T_i^0	температура в облаке в начальный момент времени (на месте выброса), К;
T_i	температура, при которой находится опасное вещество внутри оборудования в i -ом сценарии, К;
$T_{\text{эфф}i}$	эффективная температура среды в первичном облаке в i -ом сценарии, К;
$T_{\text{эфф}i}^l$	эффективная температура среды во вторичном облаке, образующемся на l -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $T_{\text{эфф}i}^l = T_{\text{эфф}i}^{\text{ж}}, T_{\text{эфф}i}^{\text{отс выб}}, T_{\text{эфф}i}^{\text{г}}, T_{\text{эфф}i}^{\text{ги}}, T_{\text{эфф}i}^{\text{и}}, T_{\text{эфф}i}^{\text{е}}$), К;
$T_{\text{возд}}$	температура воздуха, К;
$T_{\text{кип}}$	температура кипения жидкого опасного вещества при давлении P_0 , К;
$T_{\text{п п}}$	температура подстилающей поверхности, на которую происходит пролив жидкой фазы опасного вещества, К;
$T_{\text{пов рас}}$	температура подстилающей поверхности, над которой происходит рассеяние выброса, К;
$T_{\text{прив}}$	вспомогательная (приведенная) температура, используемая при расчете скорости испарения, К;

$T_{\text{прол}}$	температура жидкой фазы в проливе в начальный момент времени, К;
U_j	скорость на оси струи, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$;
$U_{\text{ветер}}$	скорость ветра на координате s струи, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$;
V	объем, м^3 ;
$V_{\text{взр}}$	взрывоопасный объем;
V_i	объем оборудования в i -ом сценарии, м^3 , при выбросе с трубопровода, на входе которого стоит компрессор (насос), принимается равным бесконечной величине;
$V_{\text{эфф}i}$	эффективный удельный объем среды в первичном облаке в i -ом сценарии, $\text{м}^3/\text{кг}$;
$V_{\text{эфф}i}^l$	эффективный удельный объем среды во вторичном облаке, образующемся на l -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $V_{\text{эфф}i}^l = V_{\text{эфф}i}^{\text{ж}}$, $V_{\text{эфф}i}^{\text{отс выб}}$, $V_{\text{эфф}i}^{\text{г}}$, $V_{\text{эфф}i}^{\text{ги}}$, $V_{\text{эфф}i}^{\text{и}}$, $V_{\text{эфф}i}^{\text{е}}$), $\text{м}^3/\text{кг}$;
a	безразмерная вспомогательная величина при расчете динамической скорости;
a_{Pr}	коэффициент при расчете пробит-функции;
b	вспомогательный коэффициент при расчете числа Ричардсона;
b_i^l	полуширина ядра вторичного облака, образующегося на l -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $b_i^l = b_i^{\text{ж}}$, $b_i^{\text{отс выб}}$, $b_i^{\text{г}}$, $b_i^{\text{ги}}$, $b_i^{\text{и}}$, $b_i^{\text{е}}$), м;
b_{Pr}	коэффициент при расчете пробит-функции;
c_i	концентрация опасного вещества в воздухе в некоторой точке в некоторый момент времени в i -ом сценарии, $\text{кг}/\text{м}^3$;
c_i^0	концентрация опасного вещества в некоторой точке в некоторый момент времени при рассеянии первичного облака в i -ом сценарии, $\text{кг}/\text{м}^3$;
c_i^l	концентрация опасного вещества в некоторой точке в некоторый момент времени при рассеянии вторичного облака, образующегося на l -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $c_i^l = c_i^{\text{ж}}$, $c_i^{\text{отс выб}}$, $c_i^{\text{г}}$, $c_i^{\text{ги}}$, $c_i^{\text{и}}$, $c_i^{\text{е}}$), $\text{кг}/\text{м}^3$;
$c_{\text{вкпр}}$	концентрация топлива (пожаровзрывоопасного вещества) в смеси с воздухом, соответствующая ВКПР, $\text{кг}/\text{м}^3$;
$c_{\text{п}}$	теплоемкость подстилающей поверхности, на которую проливается опасное вещество, $\text{Дж}/\text{кг}/\text{К}$;

$c_{\text{НКПР}}$	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 -ом 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 -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $c_{цi}^l = c_{цi}^{\text{ж}}$, $c_{цi}^{\text{отс выб}}$, $c_{цi}^{\text{г}}$, $c_{цi}^{\text{ги}}$, $c_{цi}^{\text{и}}$, $c_{цi}^{\text{е}}$), кг/м ³ ;
$e_{\text{возд}}$	удельная внутренняя энергия подмешиваемого воздуха, Дж/кг;
g	ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ;
k_L	вспомогательный коэффициент для вычисления масштаба Монина-Обухова;
P	вспомогательный коэффициент для вычисления масштаба Монина-Обухова;
p_n	давление насыщенного пара опасного вещества при температуре воздуха, мм рт. ст.;
$p_n(T_4)$	давление насыщенного пара опасного вещества при температуре T_4 , Па;
$q^{\text{комп}}$	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;
$q^{\text{насос}}$	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;
$q_i^{l \text{ разб}}$	расход воздуха, подмешенного на месте выброса во вторичное облако, образующееся на l -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $q_i^{l \text{ разб}} = q_i^{\text{ж разб}}$, $q_i^{\text{отс выб разб}}$, $q_i^{\text{г разб}}$, $q_i^{\text{ги разб}}$, $q_i^{\text{и разб}}$, $q_i^{\text{е разб}}$), 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;
- $q_4'_{отс}$ 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;
- $q_4''_{отс}$ 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 1-ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $q_i^l = q_i^ж, q_i^{отс\ выб}, q_i^г, q_i^{гн}, q_i^и, q_i^е$), 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;
- $q_4^ж_{ст}$ расход опасного вещества (газообразного и находящегося в жидкой фазе) в струе, образующейся на 1-ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии, кг/с
- $q_{выб}$ 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 1-ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $q_{жi}^l = q_{жi}^ж, q_{жi}^{отс\ выб}, q_{жi}^г, q_{жi}^{гн}, q_{жi}^и, q_{жi}^е$), кг/с;
- $q_{жi}^{0l}$ суммарный расход опасного вещества, находящегося в жидкой фазе (каплях), на месте эмиссии вторичного облака, образующегося на 1-ой стадии поступления опасного вещества

	в атмосферу в i -ом 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 -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом 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;
q_j	расход массы в струе, $кг \cdot с^{-1}$;
k	константа Кармана, равна 0,41;
r_i	радиус центральной части (ядра) первичного облака в i -ом сценарии, м;
s	координата вдоль оси струи, м;
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 (σ_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 -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $t_i^l = t_i^{ж}, t_i^{отс\ выб}, t_i^{г}, t_i^{ги}, t_i^{и}, t_i^{е}$), 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 -ом сценарии, с;
t_{max}^e	максимально возможная длительность истечения газообразного опасного вещества из разрушенного оборудования в сценарии 4, с;
$t_{max}^{ги}$	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;

$t'_{\text{исп}}$	вспомогательная величина при расчете, с;
$t''_{\text{исп}}$	вспомогательная величина при расчете, с;
$t_{\text{кип}}$	время, в течение которого опасное вещество поступает в первичное облако из-за интенсивного кипения жидкого опасного вещества в проливе за счет теплопритока от подстилающей поверхности, с;
$t_{\text{ликвид}}$	время ликвидации аварийного отверстия (разгерметизации) и пролива, с; если ликвидации не происходит, принимается равным бесконечности;
$t_{\text{отс}}$	время отсечения аварийного участка трубопровода (время остановки компрессора (насоса), с;
$t'_{\text{отс}}$	составляющая времени формирования первичного облака, с;
$t_{\text{экс}}$	время экспозиции, с;
$t_{\text{пр}}$	время прихода облака (достижения ПДК), с;
u_*	динамическая скорость, м/с;
$u_{i \text{ ст}}^l$	скорость в струе, образующейся на l-ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i-ом сценарии, м/с;
$u_{0 \text{эфф} i}^0$	эффективная скорость движения первичного облака в i-ом сценарии в начальный момент времени (на месте выброса), м/с;
$u_{0 \text{эфф} i}^l$	эффективная скорость движения вторичного облака, образующегося на l-ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i-ом сценарии (при различных l $u_{0 \text{эфф} i}^l = u_{0 \text{эфф} i}^{\text{ж}}$, $u_{0 \text{эфф} i}^{\text{отс выб}}$, $u_{0 \text{эфф} i}^{\text{г}}$, $u_{0 \text{эфф} i}^{\text{ги}}$, $u_{0 \text{эфф} i}^{\text{и}}$, $u_{0 \text{эфф} i}^{\text{е}}$) 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;
$u_{\text{подм}}^{\text{верх}}$	скорость подмешивания воздуха в облако за счет диффузии в вертикальном направлении, м/с;
$u_{\text{эфф} i}$	эффективная скорость движения первичного облака в i-ом сценарии, м/с;
$u_{\text{эфф} i}^l$	эффективная скорость движения вторичного облака, образующегося на l-ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i-ом сценарии (при различных l $u_{\text{эфф} i}^l = u_{\text{эфф} i}^{\text{ж}}$, $u_{\text{эфф} i}^{\text{отс выб}}$, $u_{\text{эфф} i}^{\text{г}}$, $u_{\text{эфф} i}^{\text{ги}}$, $u_{\text{эфф} i}^{\text{и}}$, $u_{\text{эфф} i}^{\text{е}}$), 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_{zi}^l	координата задней кромки вторичного облака, образующегося на 1-ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $x_{zi}^l = x_{zi}^ж, x_{zi}^{отс\ выб}, x_{zi}^г, x_{zi}^{ги}, x_{zi}^и, x_{zi}^e$), м;
x_{pi}^l	координата передней кромки вторичного облака, образующегося на 1-ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $x_{pi}^l = x_{pi}^ж, x_{pi}^{отс\ выб}, x_{pi}^г, x_{pi}^{ги}, x_{pi}^и, x_{pi}^e$), м;
x_{ci}	координата центра первичного облака в i -ом 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;
Φ	безразмерная вспомогательная величина при расчете скорости подмешивания воздуха в облако;
α	объемная доля газовой фазы в оборудовании;
α_v	показатель степенной зависимости скорости ветра от высоты;
$\alpha_{i\ \text{возд}}$	количество массовых долей воздуха (на единичную массовую долю опасного вещества), подмешивающегося в первичное облако на начальном этапе в i -ом сценарии;
$\alpha_{i\ \text{возд}}^l$	количество массовых долей воздуха (на единичную массовую долю опасного вещества), подмешивающегося во вторичное облако на начальном этапе на 1-ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии;
α_j	коэффициент подмешивания по струе;
β	вспомогательный коэффициент, $\beta = 1 + \alpha_v$;

β_j	коэффициент подмешивания против ветра в струе;
γ	показатель адиабаты опасного вещества в газообразной фазе;
γ_y	вспомогательная величина при расчете σ_y ;
$\gamma_{\text{подм}}$	коэффициент пропорциональности при расчете воздуха в облаке при подмешивании через боковую поверхность; равен 0,63;
γ_j	вспомогательный коэффициент при расчете подмешивания против ветра в струе;
δ	вспомогательная величина при расчете σ_y ;
δ_{600}	вспомогательная величина при расчете σ_y ;
ϕ	вспомогательная величина при расчете динамической скорости;
$\varphi_{\text{ст } i}^i$	угол удара образующемся на 1-ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии струи, рад;
φ_j	угол наклона оси струи к горизонту, рад;
$\lambda_{\text{п}}$	коэффициент теплопроводности подстилающей поверхности, на которую проливается опасное вещество, Вт/К/м;
μ	молярная масса опасного вещества, кг/моль;
$\mu_{\text{возд}}$	молярная масса воздуха, кг/моль;
$\mu_{\text{эфф } i}$	эффективная молярная масса газообразной смеси опасного вещества с воздухом в первичном облаке в i -ом сценарии, кг/моль;
$\mu_{\text{эфф } i}^l$	эффективная молярная масса газообразной смеси опасного вещества с воздухом во вторичном облаке, образующемся на 1-ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $\mu_{\text{эфф } i}^l = \mu_{\text{эфф } i}^{\text{ж}}, \mu_{\text{эфф } i}^{\text{отс выб}}, \mu_{\text{эфф } i}^{\text{г}}, \mu_{\text{эфф } i}^{\text{ги}}, \mu_{\text{эфф } i}^{\text{и}}, \mu_{\text{эфф } i}^{\text{е}}$), кг/моль;
π	число, равное 3,14159..., отношение длины окружности к диаметру;
$\rho(p_{\text{н}}(T_4), T_4)$	плотность газообразного опасного вещества при температуре T_4 и давлении $p_{\text{н}}(T_4)$, кг/м ³ ;
ρ_i	плотность газовой фазы опасного вещества в оборудовании в i -ом сценарии, кг/м ³ ;
$\rho_{\text{возд}}$	плотность воздуха в окружающей среде, кг/м ³ ;
$\rho_{\text{ж}}$	плотность жидкого опасного вещества, кг/м ³ ;
$\rho_{\text{кип}}$	плотность газообразного опасного вещества при температуре кипения и давлении P_0 , кг/м ³ ;
$\rho_{\text{п}}$	плотность материала подстилающей поверхности, на которую проливается опасное вещество, кг/м ³ ;

$\rho_{эфф\ i}$	эффективная плотность среды в первичном облаке в i -ом сценарии, кг/м ³ ;
$\rho_{эфф\ i}^l$	эффективная плотность среды во вторичном облаке, образующемся на l -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $\rho_{эфф\ i}^l = \rho_{эфф\ i}^ж$, $\rho_{эфф\ i}^{отс\ выб}$, $\rho_{эфф\ i}^г$, $\rho_{эфф\ i}^{ги}$, $\rho_{эфф\ i}^и$, $\rho_{эфф\ i}^е$), кг/м ³ ;
$\rho_i^{выб}$	плотность опасного вещества в первичном облаке в начальный момент (на месте выброса) времени в i -м сценарии, кг/м ³ ;
ρ_i^l	плотность опасного вещества в начальный момент времени во вторичном облаке, образующемся на l -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $\rho_i^l = \rho_i^ж$, $\rho_i^{отс\ выб}$, $\rho_i^г$, $\rho_i^{ги}$, $\rho_i^и$, $\rho_i^е$), кг/м ³ ; $\rho_i^{отс\ выб}$ принимается равной 0 кг/м ³ , если количество опасного вещества в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса;
$\rho_{i\ ст}^l$	плотность опасного вещества в начальный момент времени в струе, образующемся на l -ой стадии поступления опасного вещества в атмосферу в i -ом сценарии, кг/м ³ ;
ρ_j	плотность смеси опасного вещества с воздухом в струе, кг/м ³ ;
σ_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, $1 = \text{sign}(5)$;

min – минимальное из всех значений, например, $3 = \min\{3, 5\}$;

min sum $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n)$ - разность величины α_1 и суммы $\alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$, если эта разность величина положительная, и 0 в противном случае;

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

например,

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

или

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

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

рода) при $a > 0$.

Основные соотношения для Г-функции:

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

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

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

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

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

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

$\text{arctg}(x)$ - арктангенс действительного числа x (в радианах), например, $\text{arctg}(1) = 0,785398...$

Приложение № 2
к Руководству по безопасности
«Методика моделирования
распространения аварийных выбросов
опасных веществ», утвержденному
приказом Ростехнадзора
от «04» ноября 2022 г. № 385

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В документе используются следующие термины с соответствующими определениями:

авария – разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на ОПО, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ (статья 1 Федерального закона от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»);

безопасность (safety) – отсутствие неприемлемого риска (статья 3 ГОСТ Р МЭК 61508-4-2012: Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 4. Термины и определения». Утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 октября 2012 г. № 589-ст);

безопасность продукции и связанных с ней процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации (безопасность) – состояние, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений (статья 2 Федерального закона от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»);

нижний (верхний) концентрационный предел распространения пламени (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 (ГОСТ 12.1.044–89 «ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения». Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 12 декабря 1989 г. № 3683);

обоснование безопасности опасного производственного объекта – документ, содержащий сведения о результатах оценки риска аварии на ОПО и связанной с ней угрозы, условия безопасной эксплуатации ОПО, требования к эксплуатации, капитальному ремонту, консервации и ликвидации ОПО (статья 1 Федерального закона от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»);

опасность (hazard) - источник потенциального вреда или ситуация с потенциальной возможностью нанесения вреда (статья 2 ГОСТ Р 51901.1-2002 «Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем». Утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 7 июня 2002 г. № 236-ст);

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

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

промышленная безопасность ОПО (промышленная безопасность, безопасность ОПО) – состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на ОПО и последствий указанных аварий

(статья 1 Федерального закона от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»);

требования промышленной безопасности – условия, запреты, ограничения и другие обязательные требования, содержащиеся в Федеральном законе от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», других федеральных законах, принимаемых в соответствии с ними нормативных правовых актах Президента Российской Федерации, нормативных правовых актах Правительства Российской Федерации, а также федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности (пункт 1 статьи 3 Федерального закона от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»).

Приложение № 3
 к Руководству по безопасности
 «Методика моделирования
 распространения аварийных выбросов
 опасных веществ», утвержденному
 приказом Ростехнадзора
 от «*02*» *Молода* 2022 г. № *385*

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

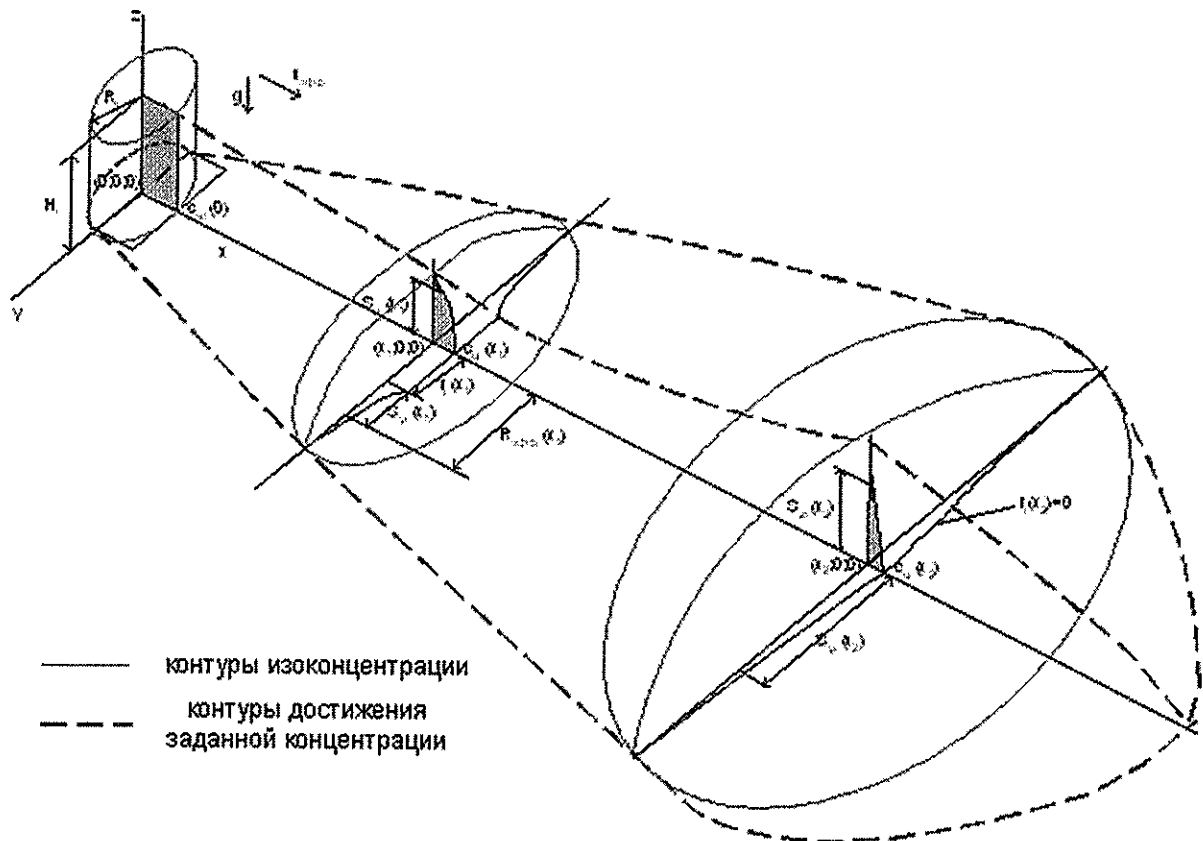


Рисунок 3-1. Схема распространения первичного облака

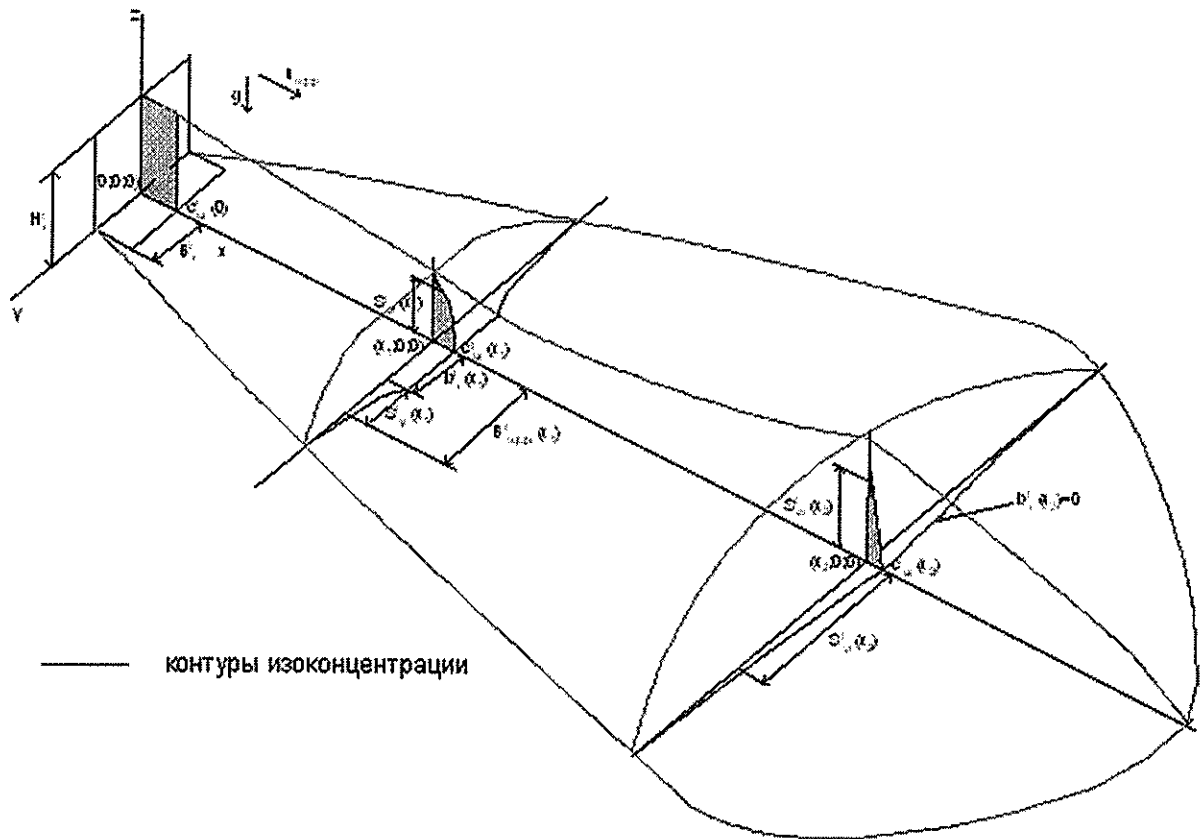


Рисунок 3-2. Схема распространения вторичного облака

Приложение № 4
к Руководству по безопасности
«Методика моделирования
распространения аварийных выбросов
опасных веществ», утвержденному
приказом Ростехнадзора
от «02» ноября 2022 г. № 385

**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 рисунками 4-1 - 4-2 приложения № 4 к Руководству).

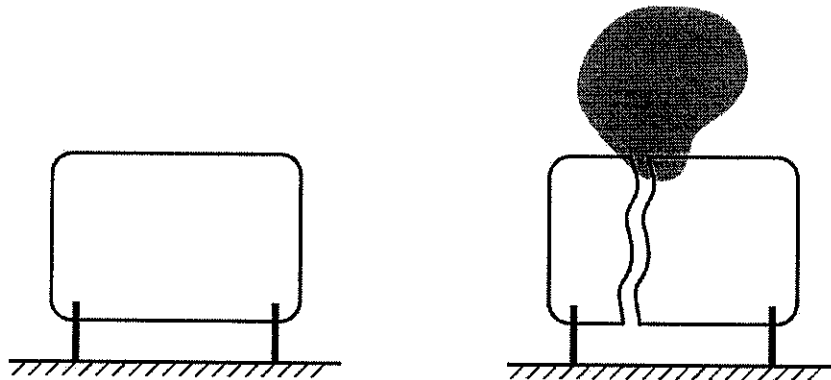


Рисунок 4-1. Мгновенное разрушение емкости с газом (сценарий 1)

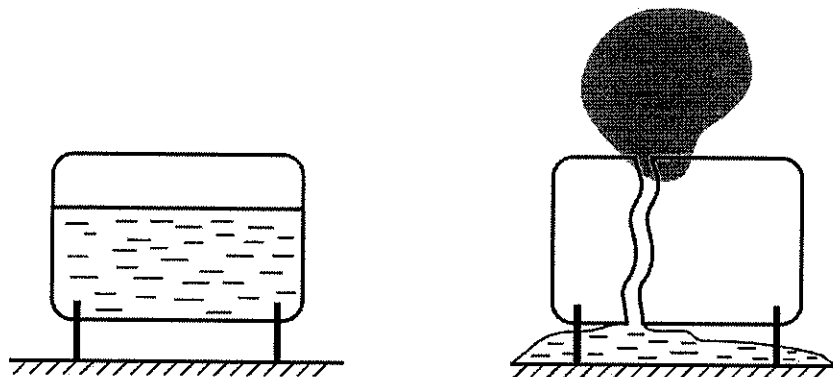


Рисунок 4-2. Мгновенное разрушение емкости с жидкой фазой (сценарий 3)

2. Для емкости с газом или жидкой фазой возможны 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 рисунками 4-3 - 4-5 приложения № 4 к Руководству).

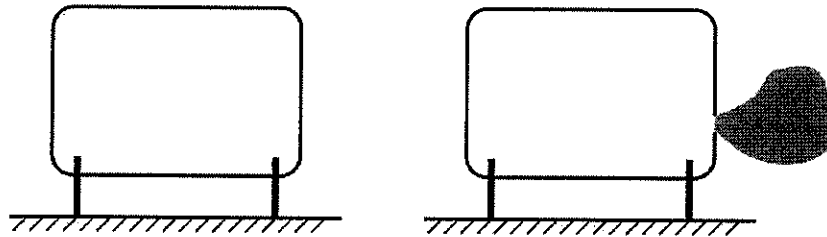


Рисунок 4-3. Разгерметизация емкости с газом (сценарий 2)

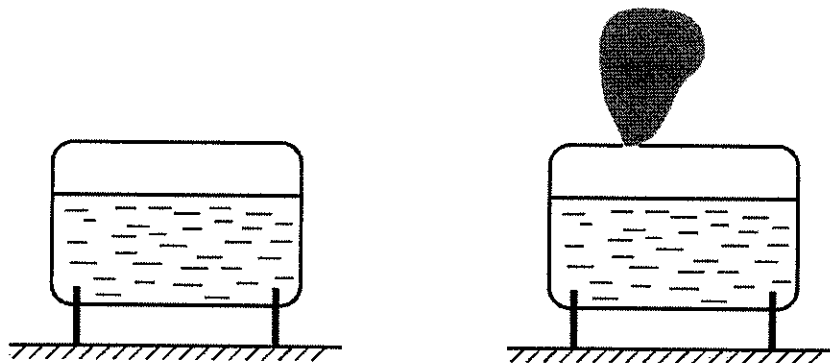


Рисунок 4-4. Разгерметизация емкости с жидкой фазой выше уровня жидкости (сценарий 4)

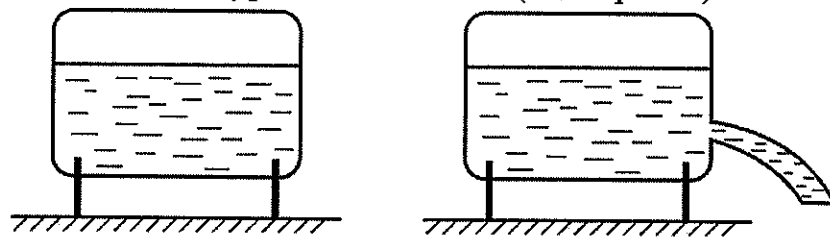


Рисунок 4-5. Разгерметизация емкости с жидкой фазой ниже уровня жидкости (сценарий 4)

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 рисунках № 4-6 – 4-8

приложения № 4 к Руководству отсекаемый участок аварийного трубопровода обозначен «1» и расположен справа от задвижки, которая, в свою очередь, расположена на трубопроводе около емкости.

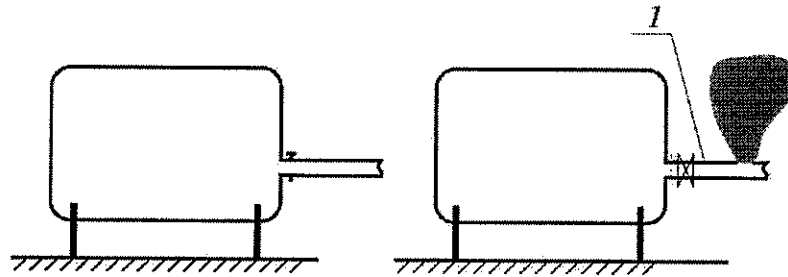


Рисунок 4-6. Разгерметизация трубопровода с газом, присоединенного к емкости (1 – отсекаемый участок аварийного трубопровода) (сценарий 2)

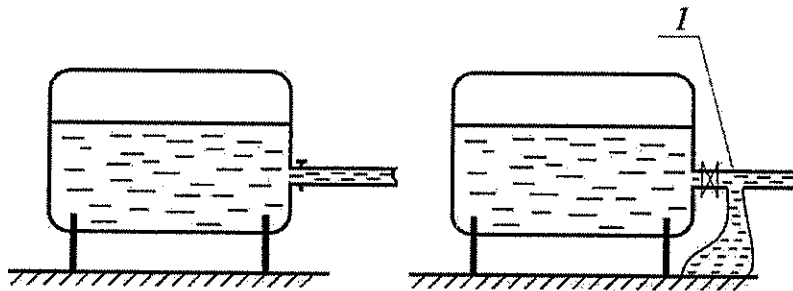


Рисунок 4-7. Разгерметизация трубопровода с жидкой фазой, присоединенного к емкости (1 – отсекаемый участок аварийного трубопровода) (сценарий 4)

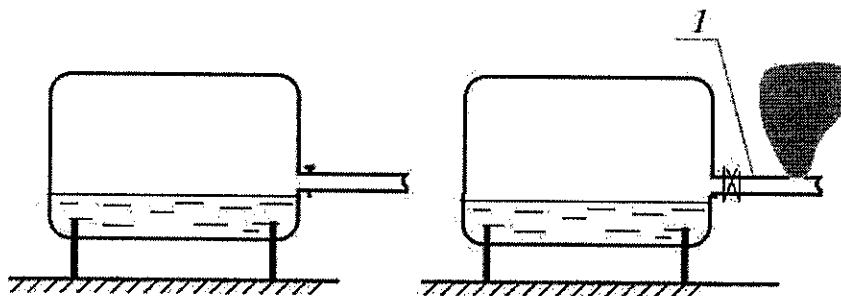


Рисунок 4-8. Разгерметизация трубопровода с газовой фазой, присоединенного к емкости (1 – отсекаемый участок аварийного трубопровода) (сценарий 4)

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 рисунках 4-9 – 4-10 приложения № 4 к Руководству отсекаемый участок аварийного трубопровода обозначен «1» и расположен справа от задвижки, которая, в свою очередь, расположена на трубопроводе около компрессора (насоса).

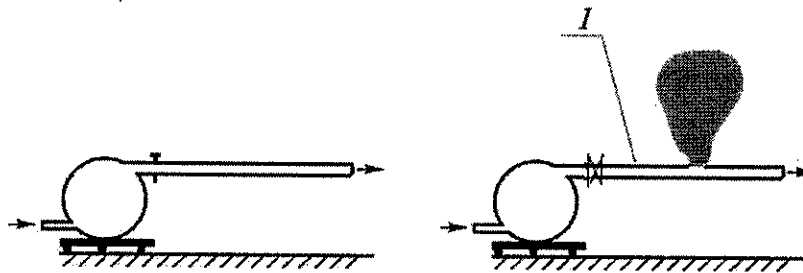


Рисунок 4-9. Разгерметизация трубопровода с газом, присоединенного к компрессору (1 – отсекаемый участок аварийного трубопровода) (сценарий 2)

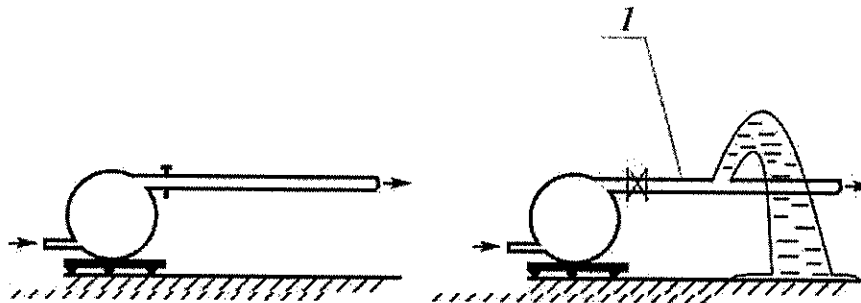


Рисунок 4-10. Разгерметизация трубопровода с жидкой фазой, присоединенного к насосу (1 – отсекаемый участок аварийного трубопровода) (сценарий 4)

Приложение № 5
к Руководству по безопасности
«Методика моделирования
распространения аварийных выбросов
опасных веществ», утвержденному
приказом Ростехнадзора
от «02» марта 2022 г. № 385

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 опасного вещества.

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

В зависимости от сценария, конфигурации оборудования, характера разрушения, свойств опасного вещества 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 Руководству, с учетом изменений в системе, происшедших на предыдущих подстадиях.

Сценарий 1

Разрушение оборудования с выбросом всего объема опасного вещества, образование первичного облака, рассеяние первичного облака и воздействие на окружающую среду (в соответствии с рисунком 4-1 приложения № 4 к Руководству).

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 рисунками 4-3, 4-6, 4-9 приложения № 4 к Руководству).

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

Возможно прекращение выброса путем ликвидации аварийного отверстия (разгерметизации).

Сценарий 3

Разрушение оборудования с жидким опасным веществом, выброс опасного вещества в окружающую среду, при наличии перегрева у жидкой фазы возможно ее вскипание с образованием в атмосфере газочапельного облака (в соответствии рисунком 4-2 приложения № 4 к Руководству). 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, содержащейся в оборудовании, из образовавшейся при вскипании за счет перегрева жидкой фазы газочапельной фазы и из газа, образующегося при кипении пролива, образуется первичное облако, которое рассеивается в атмосфере, воздействуя на окружающую среду.

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

Возможно прекращение поступления опасного вещества 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 опасного вещества (вторичного) и воздействие его на окружающую среду (в соответствии с рисунками 4-4, 4-5 приложения № 4 к Руководству). После спада давления в емкости до атмосферного поступление опасного вещества в окружающую среду будет обусловлено лишь испарением опасного вещества с поверхности жидкости в емкости. При этом в атмосфере образуется

вторичное облако, состоящее из газообразного опасного вещества, поступающего из разгерметизированной емкости за счет испарения опасного вещества из нее. Вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока не испарится все опасное вещество 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 газочапельной взвеси. Затем, если температура кипения меньше температуры поверхности, происходит кипение жидкой фазы (той ее части, что не участвовала в формировании газочапельной взвеси в атмосфере) при проливе ее на подстилающую поверхность. При этом из газа, образовавшегося при кипении пролива, а также из газочапельной 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 газочапельную взвесь опасного вещества. При этом в атмосфере образуется вторичное облако, состоящее из газообразного опасного вещества, испарившегося с пролива, и (при выбросе перегретой жидкости) из газочапельной взвеси, образующейся при вскипании опасного вещества 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 опасного вещества 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 опасного вещества, состоящее из газообразного опасного вещества, испарившегося с пролива, и из газообразного опасного вещества, 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 поступать в окружающую среду за счет избытка давления. Если пролив опасного вещества при этом еще не испарился, то в атмосфере образуется вторичное облако опасного вещества, состоящее из газообразного опасного вещества, испарившегося с пролива. Такое вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока будет существовать испарение опасного вещества 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 опасного вещества, состоящее из газообразного опасного вещества. Такое вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока будет существовать избыточное давление в емкости.

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

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

Сценарий 4. Аварии на трубопроводе, на входе которого стоит емкость

Разрушение трубопровода, выходящего из емкости выше уровня жидкости, и истечение газа из разрушенного оборудования при отсутствии пролива жидкой фазы (в соответствии с рисунками 4-7, 4-8 приложения № 4 к Руководству). 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 вторичного газового облака опасного вещества и воздействие его на окружающую среду. При наличии запорной арматуры возможно отсечение аварийного участка трубопровода и истечение опасного вещества только из этого аварийного участка. Если давление в емкости (или в отсеченном участке трубопровода) уменьшилось и стало равным атмосферному, то поступление опасного вещества 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 опасное вещество 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 трубопроводе, на входе которого стоит насос

При разрушении трубопровода происходит истечение жидкой фазы и образование пролива на месте выброса (в соответствии с рисунком 4-10 приложения № 4 к Руководству). 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 опасного вещества. При выбросе перегретой жидкости часть жидкой фазы вскипает до выпадения на землю, образуя в атмосфере газокапельную взвесь опасного вещества. При этом в атмосфере образуется вторичное облако опасного вещества, состоящее из газообразного опасного вещества, испарившегося с пролива, и (при выбросе перегретой жидкости) из газокапельной взвеси, образующейся при вскипании опасного вещества, 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 опасного вещества, испарившегося с пролива, и из газообразного опасного вещества, поступающего из разрушенного трубопровода за счет наличия 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 опасного вещества при этом еще не испарился, то в атмосфере образуется вторичное облако опасного вещества, состоящее из газообразного опасного вещества, испарившегося с пролива. Такое вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока будет существовать испарение опасного вещества 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 опасного вещества, 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 опасного вещества на месте аварии испарился и давление в отсеченном участке аварийного трубопровода стало равным атмосферному, то поступление опасного вещества в окружающую среду будет обусловлено лишь испарением опасного вещества с поверхности жидкости в трубопроводе. В атмосфере при этом образуется вторичное облако, состоящее из газообразного опасного вещества, поступающего из разгерметизированного трубопровода за счет испарения опасного вещества. Такое вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока не испарится все опасное вещество из трубопровода.

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

Приложение № 6
к Руководству по безопасности
«Методика моделирования
распространения аварийных выбросов
опасных веществ», утвержденному
приказом Ростехнадзора
от «04» ноября 2022 г. № 385

**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 Руководства, рекомендуется иметь следующие данные:

тип местности, где происходит рассеяние выброса (необходим для определения $Z_{\text{пов}}$ – характерного размера шероховатости подстилающей поверхности (таблица № 7-3 приложения № 7 к Руководству);

показатель степенной зависимости скорости ветра от высоты α_v ;

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 опасного вещества в воздухе, соответствующие тому или иному воздействию опасного вещества на человека, способ расчета пробит-функции токсического поражения человека;

индивидуальные характеристики опасного вещества 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, теплопроводность) 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 $V_2, P_2, T_2, Q_{\text{тр}}, S, S_{\text{тр}}, q_{\text{комп}}, t_{\text{ликвид}}$
Сценарий 3	P_3, T_3, Q^r либо V_3 и α
Сценарий 4	$P_4, T_4, \rho_4, H, L, D_{\text{тр}}, q_{\text{насос}}, S, t_{\text{ликвид}}, t_{\text{отс}}, S_{\text{обор}}, Q^{\text{ж}}, Q_{\text{H}}^{\text{ж}}, Q_{\text{тр}}^{\text{ж}}, H_{\text{тр}}^{\text{отс}}, Q_{\text{H}}^{\text{ж тр}}, Q_{\text{тр}}^{\text{ж отс}}, Q_{\text{тр}}^{\text{ж отс}}, Q_{\text{H}}^{\text{ж отс. тр}}$

Приложение № 7

к Руководству по безопасности

«Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ»,
утвержденному приказом Ростехнадзора

от «04» Май 2022 г. № 385

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	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Pr = a + b · ln(C№·T), где C - ppm, T - мин.			14	15	16
											a	b	№			
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

Вещество	Молярная масса, M, г/моль	Плотность газа, ρ_r , кг/м ³	Плотность жидкости, $\rho_{ж}$, кг/м ³	Температура кипения, T _{кип} , °C	Теплоемкость газа, C _p , кДж/кг/°C	Коэффициент C _p /C _v	Пороговая токсодоза PC150, мг·мин/л	Смертельная токсодоза LC150, мг·мин/л	Теплота испарения, ΔH _{исп} , Дж/кг	Pr = a + b·ln(C№·T), где C - ppm, T - мин.			НКПР-ВКПР, % об.	Стехиометрическая концентрация, % об.	Теплоемкость жидкости C _p , кДж/кг/°C
										a	b	№			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
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
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

Вещество	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Pr = a + b · ln(C№·T), где C - ppm, T - мин.			НКПР-ВКПР, % об.	Стехиометрическая концентрация, % об.	Теплоемкость Cp, кДж/кг/°С жидкости
											a	b	№			
1											11	12	13	14	15	16
Оксид углерода	28,0	0,97	1000	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
Оксид этилена	44,0	1,70	882	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	161	-162,0	1,77	1,42	-	-	514	-	-	-	5,0 - 16,0	9,5	4,16
Пропан	44,0	1,86	509	509	-42,0	1,60	1,13	-	-	429	-	-	-	2,0 - 9,5	4,0	2,58
Бутан	58,0	2,46	584	584	-0,5	1,60	1,10	-	-	388,4	-	-	-	1,5 - 9,0	3,1	2,46
Пентан	72,0	3,20	612	612	36,0	1,60	1,08	-	-	376	-	-	-	1,3 - 8,0	2,6	2,36
Водород	2,0	0,09	31,5	31,5	-254,0	14,00	1,41	-	-	459	-	-	-	4,0 - 75,0	29,6	16,90
Бутадиев	54,0	2,30	628	628	-4,5	1,40	1,12	-	-	416	-	-	-	2,0 - 11,5	3,7	2,10
Бензол	78,0	3,50	883	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

Вещество	Моллярная масса, μ , г/моль	Плотность газа, ρ_g , кг/м ³	Плотность жидкости, $\rho_{ж}$, кг/м ³	Температура кипения, $T_{кип}$, °С	Теплоемкость газа, C_p , кДж/кг/°С	Коэффициент C_p/C_v , γ	Пороговая токсолога PC_{50} , мг/мин/л	Смертельная токсолога LC_{50} , мг·мин/л	Теплота испарения, $\Delta H_{исп}$, Дж/кг	Pr = a + b·ln(C№·T), где C - ppm, T - мин.			НКПР-ВКПР, % об.	Стехиометрическая концентрация, % об.	Теплоемкость жидкости C_p , кДж/кг/°С
										a	b	№			
1										11	12	13	14	15	16
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 $Z_{\text{пов}}$
в зависимости от типа местности, где происходит рассеяние

Характерный размер шероховатости поверхности $Z_{\text{пов}}$, 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				
$9,00 \cdot 10^{-4}$	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	Аэропорт – летное поле		
$1,00 \cdot 10^{-2}$	Равнинная местность: трава редкие деревья (зима, без листьев)				
$2,20 \cdot 10^{-2}$	Равнинная местность: некошенная трава				
$2,50 \cdot 10^{-2}$	Равнинная местность: одиночные деревья				
$5,00 \cdot 10^{-2}$	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 *			
0,65		Центры больших поселений и городов *			
0,90	Леса				

* Неоднородный рельеф местности

1,30		Центры больших городов, районы с высотными зданиями*
1,35		
2,00	Крайне холмистая и гористая местность*	
3,00		

Таблица № 7-4

Класс устойчивости атмосферы (модифицированные классы устойчивости по Паскуилу)

Скорость ветра, м/с	День ⁶				Сумерки ⁷	Ночь		
	Интенсивность солнечного излучения (Вт/м ²)					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

Таблица № 7-5

Величина коэффициента α_B в зависимости от класса устойчивости атмосферы для различных характерных размеров шероховатости

Характерный размер шероховатости	Класс устойчивости атмосферы					
	A	B	C	D	E	F
$Z_{\text{пов}}, \text{ м}$						
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

⁶ Период времени за исключением 1 часа после восхода солнца и 1 часа до заката.

⁷ Сумерки включают в себя 1 час после восхода солнца и 1 час до заката.

Характерный размер шероховатости	Класс устойчивости атмосферы					
	A	B	C	D	E	F
$Z_{\text{пов}}, \text{ м}$						
$3 \cdot 10^{-5}$	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
$2 \cdot 10^{-4}$	0,07/ 0,07/ 0,04	0,07/ 0,07/ 0,04	0,08/ 0,07/ 0,05	0,11/ 0,11/ 0,09	0,31/ 0,55/ 0,69	0,40/ 0,66/ 0,77
$3 \cdot 10^{-4}$	0,08/ 0,07/ 0,04	0,08/ 0,07/ 0,05	0,07/ 0,08/ 0,05	0,11/ 0,11/ 0,1	0,30/ 0,53/ 0,68	0,40/ 0,65/ 0,77
$4 \cdot 10^{-4}$	0,08/ 0,06/ 0,05	0,08/ 0,07/ 0,05	0,09/ 0,08/ 0,05	0,12/ 0,11/ 0,10	0,29/ 0,51/ 0,67	0,40/ 0,65/ 0,76

Характерный размер шероховатости	Класс устойчивости атмосферы					
	A	B	C	D	E	F
$Z_{пов}, M$						
$5 \cdot 10^{-4}$	0,08/ 0,07/ 0,05	0,08/ 0,06/ 0,05	0,09/ 0,08/ 0,05	0,12/ 0,12/ 0,10	0,29/ 0,50/ 0,66	0,40/ 0,65/ 0,76
$6 \cdot 10^{-4}$	0,08/ 0,08/ 0,05	0,08/ 0,08/ 0,05	0,09/ 0,08/ 0,06	0,12/ 0,12/ 0,10	0,29/ 0,49/ 0,65	0,40/ 0,64/ 0,76
$7 \cdot 10^{-4}$	0,08/ 0,06/ 0,05	0,09/ 0,09/ 0,05	0,10/ 0,09/ 0,06	0,13/ 0,12/ 0,10	0,29/ 0,49/ 0,65	0,40/ 0,64/ 0,76
$8 \cdot 10^{-4}$	0,08/ 0,08/ 0,05	0,09/ 0,08/ 0,05	0,10 / 0,08/ 0,06	0,13/ 0,12/ 0,10	0,28/ 0,48/ 0,64	0,40/ 0,64/ 0,76
$9 \cdot 10^{-4}$	0,09/ 0,08/ 0,05	0,09/ 0,08/ 0,05	0,10/ 0,09/ 0,06	0,13/ 0,12/ 0,11	0,29/ 0,48/ 0,64	0,40/ 0,64/ 0,76
$1 \cdot 10^{-3}$	0,09/ 0,09/ 0,05	0,09/ 0,09/ 0,05	0,10/ 0,09/ 0,06	0,13/ 0,13/ 0,11	0,28/ 0,47/ 0,63	0,40/ 0,64/ 0,76
$2 \cdot 10^{-3}$	0,10/ 0,09/ 0,06	0,11/ 0,09/ 0,06	0,11/ 0,10/ 0,07	0,15/ 0,14/ 0,12	0,28/ 0,45/ 0,61	0,40/ 0,63/ 0,75
$3 \cdot 10^{-3}$	0,11/ 0,10/ 0,06	0,11/ 0,10/ 0,06	0,12/ 0,10/ 0,07	0,15/ 0,14/ 0,12	0,28/ 0,43/ 0,59	0,41/ 0,63/ 0,75
$4 \cdot 10^{-3}$	0,11/ 0,10/ 0,06	0,12/ 0,11/ 0,07	0,13/ 0,12/ 0,08	0,16/ 0,15/ 0,12	0,28/ 0,42/ 0,58	0,41/ 0,63/ 0,74
$5 \cdot 10^{-3}$	0,12/ 0,11/ 0,07	0,12/ 0,10/ 0,07	0,14/ 0,12/ 0,08	0,17/ 0,15/ 0,13	0,28/ 0,42/ 0,58	0,42/ 0,63/ 0,74
$6 \cdot 10^{-3}$	0,12/ 0,11/ 0,07	0,13/ 0,11/ 0,07	0,14/ 0,12/ 0,08	0,17/ 0,16/ 0,13	0,29/ 0,41/ 0,57	0,42/ 0,63/ 0,74

Характерный размер шероховатости	Класс устойчивости атмосферы					
	A	B	C	D	E	F
$Z_{\text{пов}}, \text{ м}$						
$7 \cdot 10^{-3}$	0,13/ 0,11/ 0,07	0,13/ 0,12/ 0,07	0,14/ 0,13/ 0,08	0,17/ 0,16/ 0,13	0,29/ 0,41/ 0,57	0,42/ 0,63/ 0,74
$8 \cdot 10^{-3}$	0,14/ 0,11/ 0,07	0,14/ 0,11/ 0,08	0,15/ 0,14/ 0,09	0,18/ 0,16/ 0,13	0,29/ 0,41/ 0,56	0,42/ 0,63/ 0,74
$9 \cdot 10^{-3}$	0,13/ 0,12/ 0,07	0,14/ 0,12/ 0,08	0,15/ 0,13/ 0,09	0,18/ 0,17/ 0,14	0,29/ 0,41/ 0,56	0,42/ 0,63/ 0,74
$1 \cdot 10^{-2}$	0,13/ 0,12/ 0,07	0,16/ 0,13/ 0,08	0,16/ 0,14/ 0,09	0,19/ 0,17/ 0,14	0,29/ 0,41/ 0,56	0,43/ 0,63/ 0,74
$2 \cdot 10^{-2}$	0,15/ 0,11/ 0,08	0,16/ 0,14/ 0,09	0,18/ 0,15/ 0,1	0,21/ 0,19/ 0,15	0,31/ 0,40/ 0,54	0,45/ 0,63/ 0,74
$3 \cdot 10^{-2}$	0,17/ 0,16/ 0,09	0,18/ 0,17/ 0,10	0,20/ 0,17/ 0,11	0,22/ 0,20/ 0,16	0,32/ 0,40/ 0,53	0,46/ 0,64/ 0,74
$4 \cdot 10^{-2}$	0,18/ 0,13/ 0,10	0,19/ 0,16/ 0,10	0,21/ 0,16/ 0,12	0,24/ 0,21/ 0,17	0,33/ 0,40/ 0,53	0,48/ 0,64/ 0,74
$5 \cdot 10^{-2}$	0,19/ 0,16/ 0,10	0,20/ 0,17/ 0,11	0,22/ 0,18/ 0,13	0,25/ 0,21/ 0,17	0,34/ 0,40/ 0,52	0,49/ 0,64/ 0,74
$6 \cdot 10^{-2}$	0,20/ 0,17/ 0,11	0,21/ 0,17/ 0,11	0,23/ 0,19/ 0,13	0,26/ 0,22/ 0,17	0,34/ 0,41/ 0,52	0,5/ 0,65/ 0,74
$7 \cdot 10^{-2}$	0,21/ 0,17/ 0,11	0,22/ 0,18/ 0,12	0,25/ 0,21/ 0,14	0,26/ 0,23/ 0,18	0,35/ 0,41/ 0,52	0,50/ 0,65/ 0,75
$8 \cdot 10^{-2}$	0,21/ 0,18/ 0,11	0,22/ 0,18/ 0,12	0,24/ 0,2/ 0,14	0,27/ 0,23/ 0,18	0,36/ 0,41/ 0,52	0,51/ 0,65/ 0,75

Характерный размер шероховатости	Класс устойчивости атмосферы					
	A	B	C	D	E	F
$z_{\text{пов}}, \text{ м}$						
$9 \cdot 10^{-2}$	0,22/ 0,18/ 0,12	0,23/ 0,19/ 0,13	0,25/ 0,22/ 0,14	0,28/ 0,24/ 0,19	0,36/ 0,41/ 0,52	0,52/ 0,65/ 0,75
$1 \cdot 10^{-1}$	0,23/ 0,19/ 0,12	0,24/ 0,20/ 0,13	0,26/ 0,21/ 0,15	0,28/ 0,24/ 0,19	0,37/ 0,41/ 0,52	0,52/ 0,66/ 0,75
$2 \cdot 10^{-1}$	0,30/ 0,22/ 0,15	0,28/ 0,25/ 0,16	0,3/ 0,24/ 0,18	0,32/ 0,27/ 0,21	0,41/ 0,43/ 0,52	0,57/ 0,68/ 0,76
$3 \cdot 10^{-1}$	0,30/ 0,24/ 0,17	0,31/ 0,25/ 0,18	0,34/ 0,26/ 0,2	0,35/ 0,29/ 0,23	0,44/ 0,45/ 0,52	0,60/ 0,69/ 0,77
$4 \cdot 10^{-1}$	0,33/ 0,27/ 0,19	0,34/ 0,26/ 0,19	0,36/ 0,28/ 0,22	0,37/ 0,30/ 0,24	0,47/ 0,46/ 0,52	0,63/ 0,70/ 0,77
$5 \cdot 10^{-1}$	0,35/ 0,27/ 0,21	0,36/ 0,27/ 0,21	0,38/ 0,29/ 0,23	0,39/ 0,31/ 0,25	0,49/ 0,47/ 0,53	0,65/ 0,71/ 0,78
$6 \cdot 10^{-1}$	0,38/ 0,28/ 0,22	0,37/ 0,28/ 0,22	0,40/ 0,30/ 0,21	0,40/ 0,32/ 0,26	0,50/ 0,48/ 0,53	0,66/ 0,72/ 0,78
$7 \cdot 10^{-1}$	0,39/ 0,34/ 0,24	0,39/ 0,29/ 0,23	0,41/ 0,31/ 0,22	0,42/ 0,33/ 0,27	0,52/ 0,49/ 0,54	0,68/ 0,73/ 0,79
$8 \cdot 10^{-1}$	0,41/ 0,31/ 0,25	0,40/ 0,30/ 0,25	0,43/ 0,32/ 0,22	0,43/ 0,34/ 0,28	0,53/ 0,50/ 0,54	0,69/ 0,74/ 0,79
$9 \cdot 10^{-1}$	0,43/ 0,32/ 0,22	0,42/ 0,31/ 0,22	0,44/ 0,32/ 0,23	0,43/ 0,34/ 0,28	0,54/ 0,51/ 0,55	0,70/ 0,74/ 0,80
1	0,45/ 0,33/ 0,23	0,43/ 0,32/ 0,22	0,45/ 0,33/ 0,24	0,44/ 0,35/ 0,29	0,55/ 0,51/ 0,55	0,71/ 0,75/ 0,80

Характерный размер шероховатости	Класс устойчивости атмосферы					
	A	B	C	D	E	F
$Z_{\text{пов}}, \text{ м}$						
2	0,63/ 0,45/ 0,33	0,53/ 0,38/ 0,28	0,53/ 0,39/ 0,28	0,49/ 0,40/ 0,34	0,63/ 0,57/ 0,59	0,78/ 0,79/ 0,83
3	0,92/ 0,62/ 0,47	0,60/ 0,44/ 0,33	0,58/ 0,43/ 0,32	0,52/ 0,44/ 0,38	0,68/ 0,61/ 0,62	0,82/ 0,82/ 0,85
4	1,04/ 1,03/ 0,74	0,67/ 0,50/ 0,39	0,61/ 0,46/ 0,35	0,54/ 0,47/ 0,41	0,71/ 0,64/ 0,64	0,85/ 0,84/ 0,87
5	0,00/ 0,00/ 0,00	0,76/ 0,57/ 0,45	0,64/ 0,48/ 0,38	0,56/ 0,50/ 0,43	0,74/ 0,66/ 0,66	0,87/ 0,86/ 0,88
6	0,06/ 0,00/ 0,00	0,86/ 0,65/ 0,51	0,67/ 0,51/ 0,40	0,58/ 0,53/ 0,46	0,76/ 0,69/ 0,68	0,89/ 0,87/ 0,89
7	0,17/ 0,10/ 0,01	1,00/ 0,76/ 0,59	0,69/ 0,53/ 0,42	0,60/ 0,55/ 0,48	0,78/ 0,71/ 0,69	0,90/ 0,89/ 0,90
8	0,23/ 0,10/ 0,01	1,04/ 0,90/ 0,69	0,70/ 0,55/ 0,44	0,62/ 0,57/ 0,49	0,80/ 0,72/ 0,71	0,91/ 0,90/ 0,90
9	0,27/ 0,13/ 0,01	1,04/ 1,04/ 0,84	0,72/ 0,57/ 0,46	0,63/ 0,59/ 0,51	0,81/ 0,74/ 0,72	0,92/ 0,90/ 0,91
10	0,30/ 0,19/ 0,01	1,04/ 1,04/ 1,04	0,73/ 0,58/ 0,47	0,65/ 0,60/ 0,52	0,82/ 0,75/ 0,73	0,93/ 0,91/ 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 k_L и p для вычисления масштаба Монино-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 δ_{600} при различной устойчивости атмосферы

Класс устойчивости	A	B	C	D	E	F
δ_{600}	0,22	0,16	0,11	0,08	0,06	0,04

Таблица № 7-8

Значения характеристик подстилающих поверхностей

Тип поверхности	ρ_n , кг/м ³	λ_n , Вт/м/К	c_n , 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

Приложение № 8
к Руководству по безопасности
«Методика моделирования
распространения аварийных выбросов
опасных веществ», утвержденному
приказом Ростехнадзора
от «02» 11/2022 г. № 385

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

При определении состояния смеси опасного вещества с воздухом предполагается, что в воздухе нет паров и капель воды. Опасное вещество в облаке может находиться как в газовой, так и в жидкой фазах. 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 опасного вещества с воздухом в облаке проводится для каждой рассматриваемой точки пространства.

Исходными данными для проведения расчета являются:

общая масса/расход (в газообразной и жидкой фазах) опасного вещества в облаке (Q_i – для первичного облака и q_i^1 - для вторичных облаков);

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

общая масса/расход облака ($Q_{сумi}$ – для первичного облака и $q_{сумi}^1$ - для вторичных облаков);

полная внутренняя энергия/удельный поток внутренней энергии смеси вещества в облаке ($E_{эфfi}$ – для первичного облака и $e_{эфfi}^1$ - для вторичных облаков);

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

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

Перечисленные исходные данные получаются в результате решения уравнений (101)–(104), (107)–(113) для первичного облака или (118)–(184), (187)–(191) для вторичных облаков. В результате определения состояния смеси опасного вещества и воздуха в облаке получаются:

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

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

масса/расход опасного вещества в жидкой фазе ($Q_{жи}$ – для первичного облака или $q_{жи}^l$ – для вторичных облаков);

изменение геометрического размера облака – эффективная высота ($H_{эффi}$ – для первичного облака или $H_{эффi}^l$ – 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: $Q_{жи}$ на $q_{жи}^l$, Q_i на q_i^l , $Q_{жи}^0$ на $q_{жи}^{0l}$, $Q_{сумi}$ на $q_{сумi}^l$, $T_{эффi}$ на $T_{эффi}^l$, $\mu_{эффi}$ на $\mu_{эффi}^l$, $V_{эффi}$ на $V_{эффi}^l$, $\rho_{эффi}$ на $\rho_{эффi}^l$.

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 ($Q_{жи}^0 > 0$) и $T_{возд} > T_{кип}$ сначала определяется количество жидкой фазы опасного вещества в облаке:

$$Q_{жi} = \frac{(Q_i - Q_{жi}^0)c_v T_i^0 + Q_{жi}^0 c_p T_i^0 - \Delta H_{кип} Q_{жi}^0 + (Q_{сумi} - Q_i)c_{vвозд}(T_{возд} - T_{кип}) - Q_i c_v T_{кип}}{c_p T_{кип} - c_v T_{кип} - \Delta H_{кип}}. \quad (204)$$

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

Плотность (удельный объем) в облаке определяется по соотношениям:

$$\mu_{эфfi} = \frac{(Q_{сумi} - Q_{жi})\mu_{возд}}{(Q_i - Q_{жi})\mu_{возд} + (Q_{сумi} - Q_i)\mu}, \quad (205)$$

$$\rho_{эфfi} = \frac{P_0 \mu_{эфfi}}{T_{эфfi} R} + c_{wi} - \frac{P_0 \mu}{T_{эфfi} R}, \quad (206)$$

$$V_{эфfi} = \frac{1}{\rho_{эфfi}}. \quad (207)$$

Если величина $Q_{жi} \leq 0$, 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:

$$T_{эфfi} = \frac{(Q_i - Q_{жi}^0)c_v T_i^0 + Q_{жi}^0 c_p T_i^0 - \Delta H_{кип} Q_{жi}^0 + (Q_{сумi} - Q_i)c_{vвозд} T_{возд}}{(Q_{сумi} - Q_i)c_{vвозд} + Q_i c_v}. \quad (208)$$

плотность (удельный объем) в облаке определяется по соотношениям:

$$\mu_{эфfi} = \frac{Q_{сумi} \mu_{возд}}{Q_i \mu_{возд} + (Q_{сумi} - Q_i) \mu}, \quad (209)$$

$$\rho_{эфfi} = \frac{P_0 \mu_{эфfi}}{T_{эфfi} R}, \quad (210)$$

$$V_{эфfi} = \frac{1}{\rho_{эфfi}}. \quad (211)$$

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

Температура в облаке в этом случае определяется из соотношения:

$$T_{эфfi} = \frac{(Q_i - Q_{жi}^0)c_{vi} T_i^0 + Q_{жi}^0 c_p T_{кип} + (Q_{сумi} - Q_i)c_{vвозд} T_{возд}}{Q_{жi}^0 c_p + (Q_i - Q_{жi}^0)c_{vi} + (Q_{сумi} - Q_i)c_{vвозд}}. \quad (212)$$

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 опасного вещества при рассматриваемых выше условиях приведены в приложении № 9 к Руководству.

Приложение № 9
к Руководству по безопасности
«Методика моделирования
распространения аварийных выбросов
опасных веществ», утвержденному
приказом Ростехнадзора
от «02» марта 2022 г. № 385

Пример
расчетов последствий выбросов опасных веществ

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

Пример 1. В опорожненном шаровом резервуаре вместимостью 2000 м³ 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/м³;

НКГР – 8,1%.

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

3. По формулам (1)⁸ и (2)⁸ определяем количество хлорметана в первичном облаке $Q_1 = 4227,81$ кг.

4. По формуле (6)⁸ с использованием формулы (2) определяем плотность опасного вещества в выбросе - 2,11 кг/м³.

5. Согласно формуле (8), радиус (как и высота) первичного облака составляет 8,6 м.

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

7. С использованием данных таблицы № 7-4 приложения № 7 к Руководству определяем класс устойчивости атмосферы – Е.

8. С использованием данных таблиц № 7-5 - 7-7 приложения № 7 к Руководству 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 по формулам (107) - (117) с использованием уравнений (101) - (104).

Результаты расчета приведены на рисунке 9-1 приложения № 9 к Руководству.

⁸ Пункт 16 Руководства.

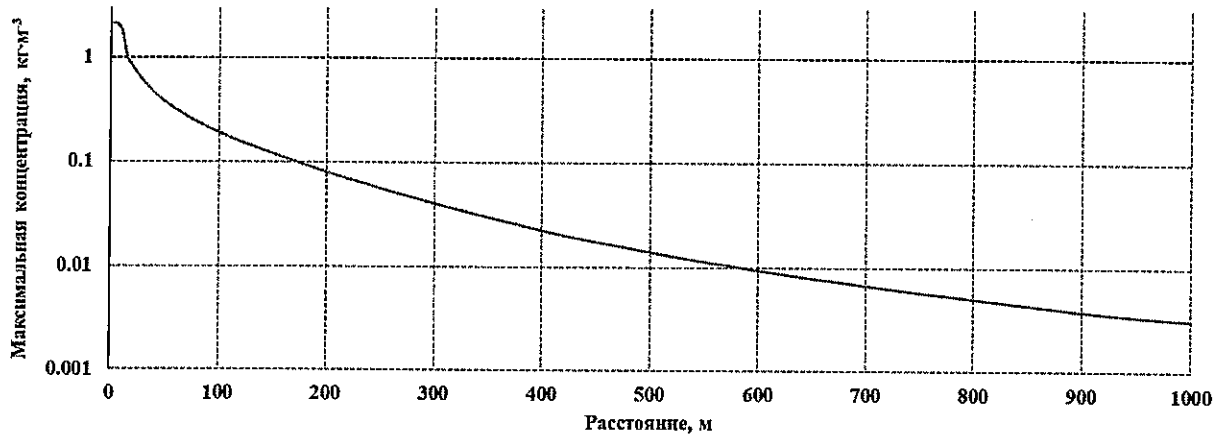


Рисунок 9-1. Максимальная приземная концентрация на оси облака (по направлению ветра) при выбросе хлорметана (пример 1)

10. С помощью соотношений (199) - (203) определяем размеры взрывопожароопасного облака смеси хлорметана с воздухом при его рассеянии (рисунок 9-2 приложения № 9 к Руководству).

Значения концентраций, кг/м³ (плоскость XY, Z = 0,0 м).

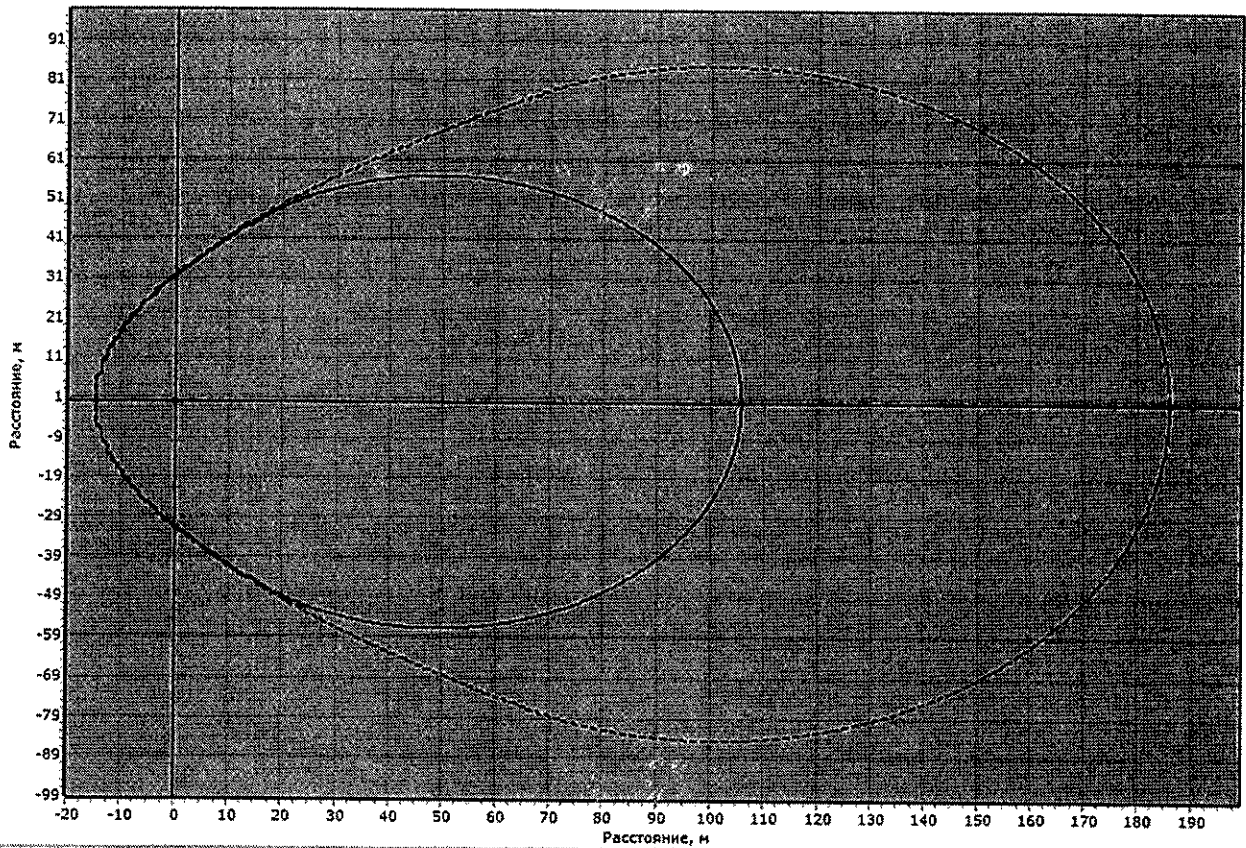


Рисунок 9-2. Сечение зоны, ограниченной НКПР (сплошная линия) и 0,5-НКПР (штриховая линия) плоскостью, Z_{пов} = 0 (в направлении по ветру) при выбросе хлорметана (пример 1)

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

12. Для определения площади облака воспользуемся соотношением $S_{эфф} = \pi R_{эфф}^2$. Зависимость площади, покрываемой облаком, от времени приведена на рисунке 9-3 приложения № 9 к Руководству.

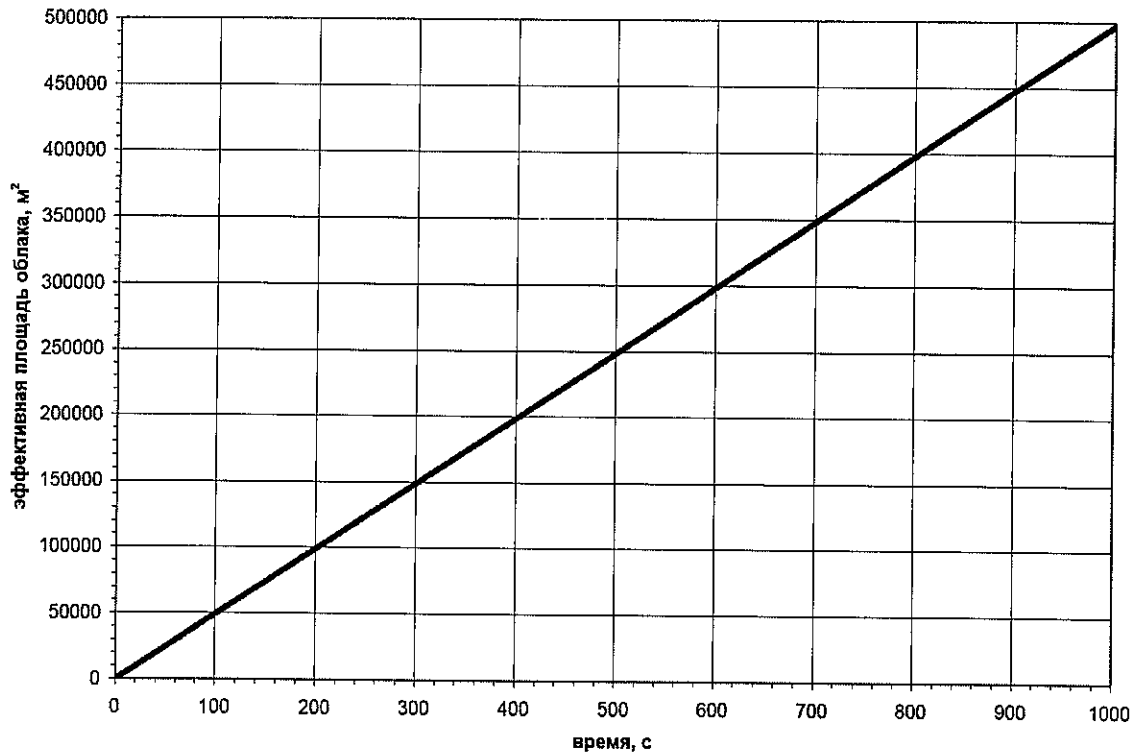


Рисунок 9-3. Изменение площади облака в зависимости от времени при выбросе хлорметана (пример 1)

Пример 2. Рассматривается технологический трубопровод DN 200 с хлорцианом в газовой фазе. 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 сек. 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 $q_{\text{выб}} = 10,3 \text{ кг/с}$.

3. Определяем плотность опасного вещества в выбросе по формуле (18) $\rho_2^{\text{гн}} = 2,63 \text{ кг/м}^3$.

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

5. По формуле (20) рассчитываются: ширина сечения вторичного облака (шлейфа) в начальный момент времени (на месте выброса) – $B_2^{\text{гн}} = 1,29 \text{ м}$; высота вторичного облака в начальном сечении $H_2^{\text{гн}} = 1,29 \text{ м}$.

6. С использованием данных таблицы № 7-4 приложения № 7 к Руководству определяем класс устойчивости атмосферы – Е.

7. С использованием данных таблиц № 7-5 - 7-7 приложения № 7 к Руководству определяем коэффициенты, используемые при расчете дисперсии, скорости подмешивания воздуха в облако.

8. Для определения концентрации хлорциана в атмосфере по формулам (185) - (186) численно решаем систему обыкновенных дифференциальных уравнений (187) - (195) с использованием уравнений (181) - (184) для стадии истечения газа в отсутствие пролива.

9. По формулам (196) - (197) рассчитываем поле концентрации при выбросе газообразного хлорциана из трубопровода. Соответствующие значения концентрации на оси выброса приведены на рисунке 9-4 приложения № 9 к Руководству.

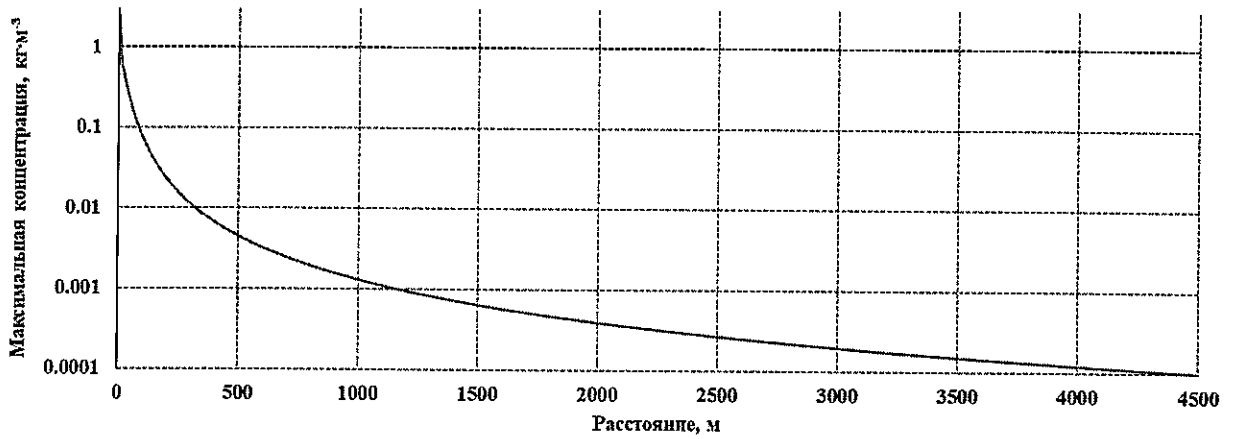


Рисунок 9-4. Максимальная концентрация на оси облака (в направлении по ветру) при выбросе хлорциана (пример 2)

10. В соответствии с пунктом 40 Руководства и по значению смертельной токсодозы для хлорциана 11 мг·мин/л определяем размеры зоны смертельного поражения (рисунки 9-5, 9-6 приложения № 9 к Руководству). Протяженность зоны смертельного поражения составляет 870 м. Максимальная высота — 4,64 м на расстоянии 390 м. Максимальная ширина 394 м на расстоянии 612 м.

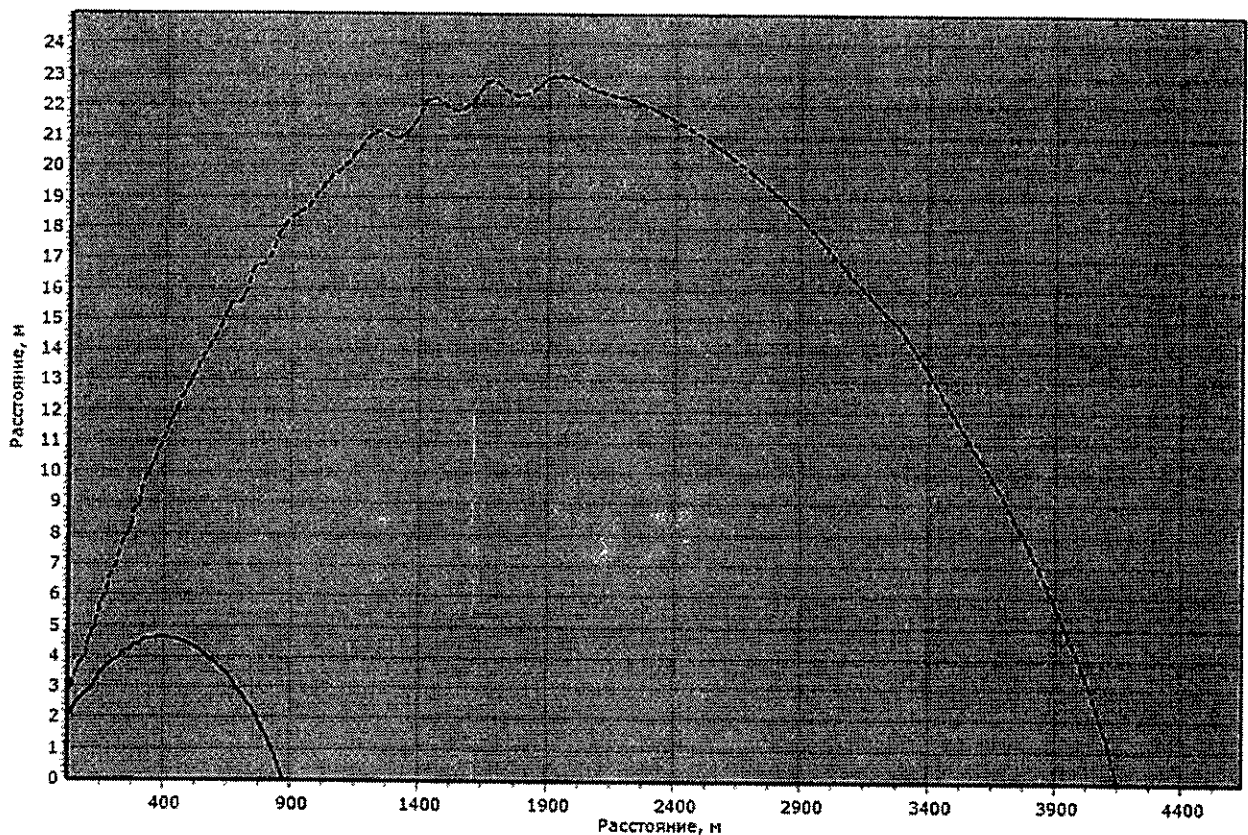


Рисунок 9-5. Размеры зоны смертельного поражения (сплошная линия) и порогового поражения (штриховая линия) в плоскости $y = 0$ (вертикальное сечение через ось выброса) при выбросе хлорциана (пример 2):

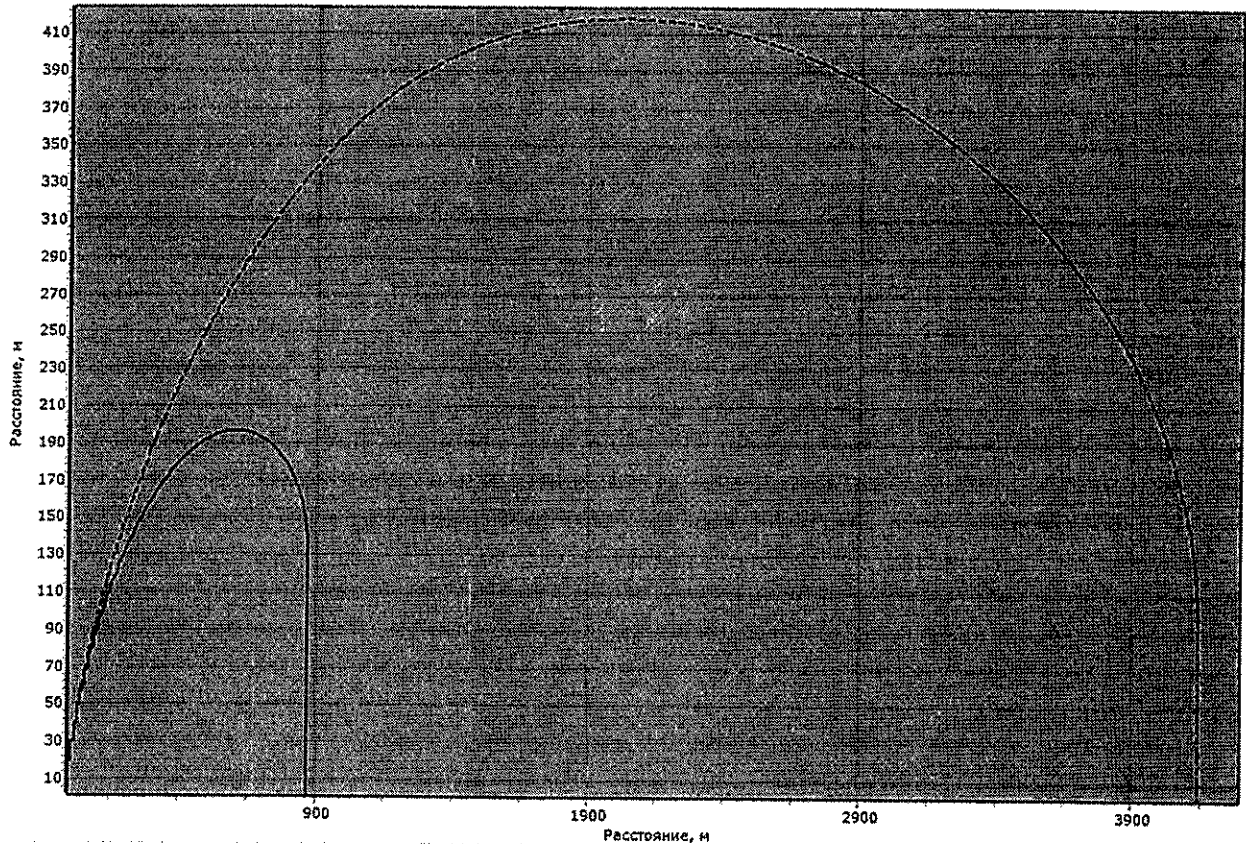


Рисунок 9-6. Размеры зоны смертельного поражения (сплошная линия) и порогового поражения (штриховая линия) на поверхности земли при выбросе хлорциана (пример 2)

11. В соответствии с пунктом 40 Руководства и по значению пороговой токсодозы для хлорциана $0,75 \text{ мг} \cdot \text{мин}/\text{л}$ определяем размеры зоны порогового воздействия (рисунки 9-5, 9-6 приложения № 9 к Руководству). Протяженность зоны порогового воздействия – 4146 м. Максимальная высота – 22,5 м на расстоянии 1938 м. Максимальная ширина – 838 м на расстоянии 2020 м.

Пример 3. На объекте хранения опасного вещества, 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 – $30 \text{ }^\circ\text{C}$. 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 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 – 34050 кг.

5. По формуле (25) определяем массу аммиака, поступающую в первичное облако в виде газа, образовавшегося при вскипании перегретой жидкой фазы – 6550 кг.

6. По формуле (26) определяем массу аммиака, поступающую в первичное облако в виде аэрозоля, образовавшегося при вскипании перегретой жидкой фазы, – 6550 кг. Согласно формуле (27) такое же количество жидкого аммиака задаем в первичном облаке в начале рассеяния.

7. По формуле (29) определяем площадь пролива – 615 м^2 . Эту же величину согласно правилу, приведенному после формулы (29), принимаем в качестве площади контакта жидкой фазы с подстилающей поверхностью.

8. По формуле (31) давление насыщенных паров при температуре окружающего воздуха – 8550 мм. рт. ст.

9. По формуле (30) определяем время интенсивного кипения, в течение которого опасное вещество поступает в первичное облако из пролива, – 18,4 с.

10. По формуле (28) определяем массу газа, поступившего в первичное облако от пролива при его кипении, – 240 кг.

11. По формуле (23) определяем массу аммиака в первичном облаке – 13700 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 101325 Па (1 атм) и температуре кипения – 33,6 °С) – 0,864 кг/м³. 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.

14. По формуле (38) определяем начальную плотность первичного облака – 1,65 кг/м³.

15. По формуле (41) определяем начальный радиус и высоту первичного облака, они равны 13,8 м.

16. По формуле (42) определяем полуширину вторичного облака, образующегося на стадии испарения аммиака из пролива в отсутствие газообразного выброса, – 12,4 м.

17. По формуле (43) определяем высоту, она равна 1,12 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 4,19 кг/с. При расчете испарения использовалась начальная эффективная скорость вторичного облака, образующегося на стадии испарения из пролива, которая равна 0,175 м/с. Согласно формуле (35) расход аммиака в жидкой фазе во вторичном облаке, образующемся на стадии испарения опасного вещества из пролива, полагается равным нулю.

19. По формуле (36) определяем время испарения пролива – 4950 с.

20. Характерный размер шероховатости согласно пункту 24 Руководства определяем по таблице № 7-3 приложения № 7 к Руководству – 0,55 м – центры малых городов.

21. Согласно пункту 23 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 таблицы № 7-6 приложения № 7 к Руководству определяем масштаб Монина–Обухова – 23,49 м.

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

24. С использованием таблицы № 7-6 приложения № 7 к Руководству 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 $0,864 \text{ кг/м}^3$, что меньше плотности окружающего воздуха ($1,16 \text{ кг/м}^3$), поэтому для расчета концентраций во вторичном облаке используем соотношение (186) Руководства в предположении нулевого значения b_1^1 (учитывая отсутствие гравитационного растекания легкого газа).

27. Согласно пункту 40 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 473 м в направлении ветра и 180 м в направлении против ветра. Ширина зоны смертельного поражения составляет 444 м на 42 м от места выброса.

На поверхности земли протяженность зоны порогового воздействия составляет 1242 м в направлении ветра и 301 м в направлении против ветра. Ширина зоны смертельного поражения составляет 1173 м на 360 м от места выброса.

Результаты расчета зон смертельного поражения и порогового воздействия приведены на рисунках 9-7, 9-8 приложения № 9 к Руководству. На рисунке 9-7 приложения № 9 к Руководству показаны границы этих зон на поверхности земли, а на рисунке 9-8 приложения № 9 к Руководству – в вертикальной плоскости, проходящей через ось выброса. Положению места выброса на этих рисунках соответствуют пространственные координаты (0, 0, 0).

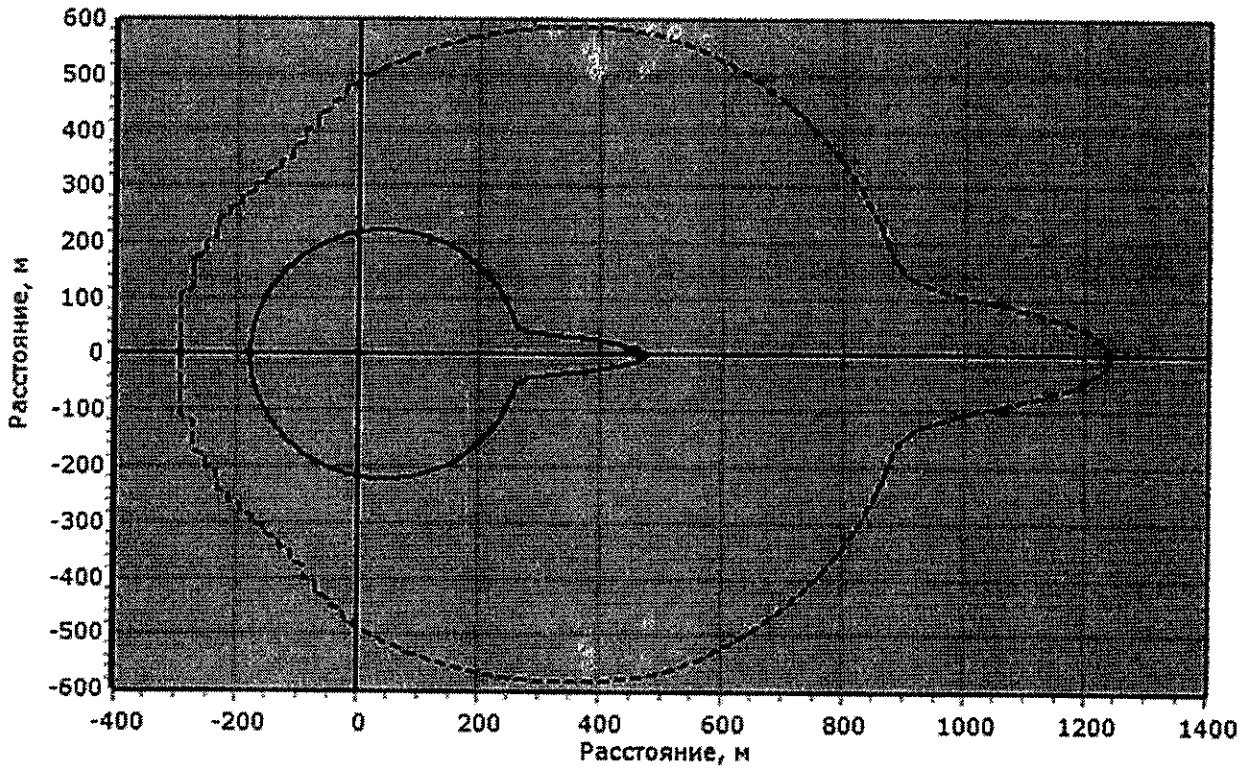


Рисунок 9-7. Зоны смертельного поражения (сплошная линия) и порогового воздействия (штриховая линия) на поверхности земли при выбросе аммиака (пример 3)

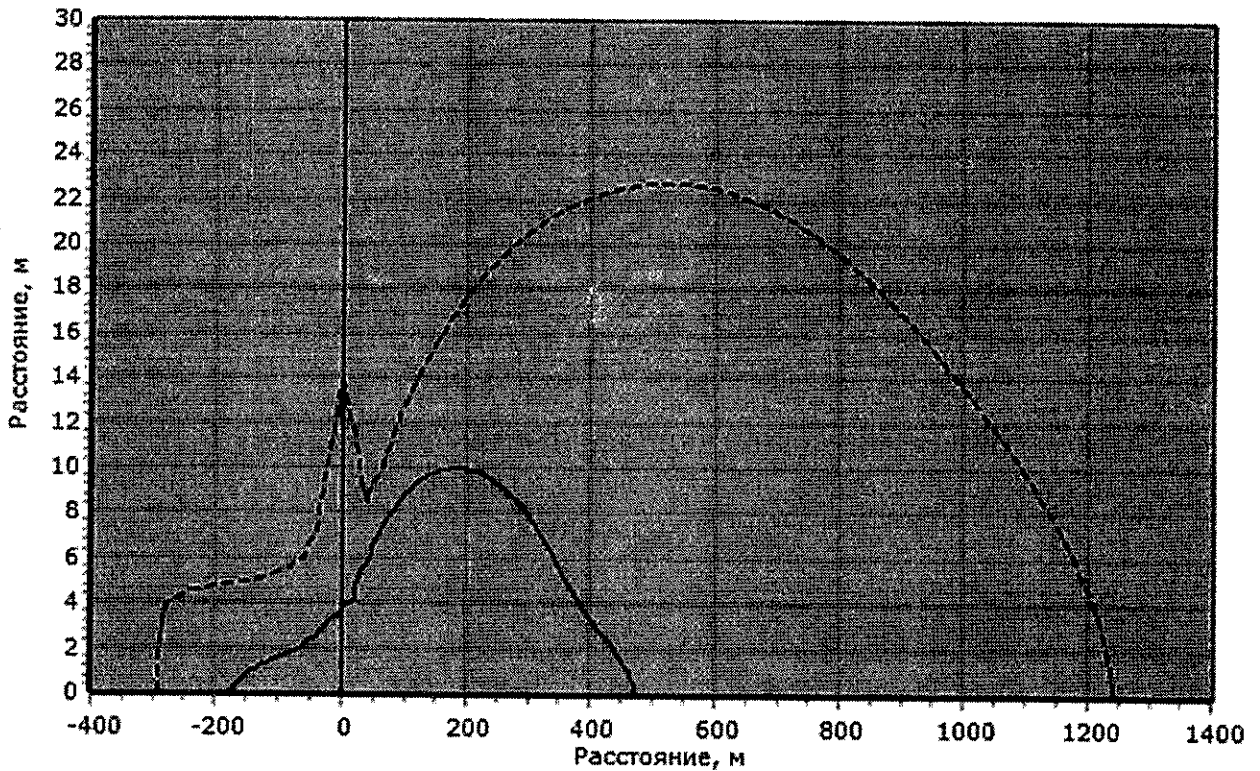


Рисунок 9-8. Зоны смертельного поражения (сплошная линия) и порогового воздействия (штриховая линия) в вертикальной плоскости, проходящей через ось выброса, при выбросе аммиака (пример 3)

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

Емкость содержит 4 т 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 см²). Место разрушения трубопровода находится на расстоянии 41 метра от емкости (длина отсекаемого участка – 50 м, длина всего участка – 100 м). Предполагается, что через 60 с после разрушения происходит отсечение аварийного участка, время ликвидации отверстия при этом составляет 5 мин.

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.

Оценить размеры пожаровзрывоопасной зоны, возникающей в результате такой аварии.

Решение:

При решении используем характеристики пропана, приведенные в таблице № 7-1 приложения № 7 к Руководству.

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

При расчете кипения пролива при выпадении жидкости на подстилающую поверхность согласно исходным данным в качестве поверхности пролива берется песок со свойствами, приведенными в таблице № 7-8 приложения № 7 к Руководству.

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/м³.
3. В качестве вспомогательной величины определяем плотность газовой фазы пропана в оборудовании – 14,16 кг/м³.
4. По вспомогательной формуле (46) определяем давление насыщенных паров пропана при существующей температуре в оборудовании – 782 кПа.
5. По вспомогательной формуле (46) определяем плотность насыщенных паров пропана при существующей температуре в оборудовании – 14,06 кг/м³.
6. В качестве вспомогательной величины определяем плотность газовой фазы при температуре кипения и давлении насыщенного пара, соответствующем температуре жидкости в оборудовании, – 17,76 кг/м³.
7. По формуле (48) определяем общий (жидкости и газа) расход в выбросе из разрушенного оборудования (до отсечения аварийного участка) – 5,49 кг/с.
8. По формуле (58) определяем расход газа, образовавшегося при вскипании перегретой жидкости, в выбросе из разрушенного оборудования (до отсечения аварийного участка) – 1,68 кг/с.
9. По формуле (58) определяем расход жидкости (в виде аэрозоля, образовавшегося при вскипании перегретой жидкости) в выбросе из разрушенного оборудования (до отсечения аварийного участка) – 1,68 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).
10. С помощью формулы (53) выполняем предварительный расчет времени выравнивания скоростей кипения и испарения за счет тепломассообмена с воздухом – 5,04 с.
11. По формуле (61) определяем расход пропана в газовой фазе, образовавшейся при вскипании перегретой жидкости, в выбросе из разрушенного оборудования (после отсечения аварийного участка) – 0 кг/с.

12. По формуле (62) определяем расход жидкого пропана (в виде аэрозоля, образовавшегося при вскипании перегретой жидкости) в выбросе из разрушенного оборудования (после отсечения аварийного участка) – 0 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).

13. По формуле (55) проводим предварительный расчет времени формирования первичного облака на стадии истечения жидкости из разрушенного оборудования до отсечения аварийного участка – 0,108 с.

14. По формуле (56) делаем предварительный расчет времени формирования первичного облака на стадии истечения жидкости из разрушенного оборудования после отсечения аварийного участка – 0 с.

15. По формуле (54) определяем площадь пролива пропана на стадии формирования первичного облака – 0,106 м². После формулы (56) приравниваем эту величину к площади контакта пролива с подстилающей поверхностью на стадии формирования первичного облака.

16. С помощью формулы (53) окончательно определяем время формирования первичного облака – 0,106 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.

17. По формуле (69) определяем длительность стадии истечения жидкости из разрушенного оборудования до отсечения аварийного участка – 59,9 с.

18. По формуле (50) определяем массу пропана в первичном облаке – 0,37 кг. Согласно формуле (51) в начальный момент времени в первичном облаке находится 0,182 кг жидкого пропана. По формуле (79) рассчитываем начальную плотность первичного облака 4,6 кг/м³. По формуле (84)

определяем радиус и высоту первичного облака – 0,294 м. Начальная температура в первичном облаке составляет 231 К.

19. По формуле (72) определяем площадь пролива пропана – 1,26 м².

20. По формуле (85), первый вариант, определяем полуширину вторичного облака, образующегося на стадии истечения пропана в жидкой фазе (до отсечения аварийного участка), – 0,561 м. По формуле (88) определяем высоту этого облака – 0,247 м.

21. По формуле (57) расход пропана во вторичном облаке, образующемся на стадии истечения жидкой фазы (до отсечения аварийного участка), составляет 3,38 кг/с. Начальный расход пропана в газовой фазе в этом вторичном облаке составляет 1,68 кг/с. Начальная скорость перемещения этого облака составляет 2,7 м/с. По формуле (80) рассчитываем начальную плотность среды в этом облаке – 4,55 кг/м³. Начальная температура во вторичном облаке составляет 231 К.

22. По формуле (85), первый вариант, определяем полуширину вторичного облака, образующегося на стадии истечения пропана в жидкой фазе (после отсечения аварийного участка), – 0,561 м. По формуле (88) определяем высоту этого облака – 0,247 м.

23. По формуле (57) расход пропана во вторичном облаке, образующемся на стадии истечения жидкой фазы (после отсечения аварийного участка), составляет 3,38 кг/с. Начальный расход пропана в газовой фазе в этом вторичном облаке составляет 1,68 кг/с. Начальная скорость перемещения этого облака составляет 2,7 м/с. По формуле (81) рассчитываем начальную плотность среды в этом облаке – 4,55 кг/м³. Начальная температура во вторичном облаке составляет 231 К.

24. По формулам (73), (75) и (78) получаем, что длительности таких этапов, как истечение 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.

25. По формуле (87) определяем полуширину вторичного облака, образующегося на стадии испарения пропана из пролива в отсутствие выброса из оборудования, – 0,561 м. По формуле (91) определяем высоту этого вторичного облака – 0,00519 м. Средняя начальная скорость перемещения этого облака составляет 1,3 м/с. По формуле (66) определяем расход пропана в этом облаке – 0,0175 кг/с. Согласно формуле (63) жидкая фаза в этом вторичном облаке отсутствует. Согласно формуле (83) начальная плотность этого облака составляет 2,32 кг/м³. Начальная температура во вторичном облаке составляет 231 К.

26. По формуле (71) определяем время испарения пролива пропана после окончания истечения жидкой фазы – 2 580 с.

27. Характерный размер шероховатости согласно пункту 21 Руководства определяем по таблице № 7-1 приложения № 7 к Руководству – 0,01 м.

28. Согласно пункту 23 Руководства определяем показатель степени в степенной зависимости скорости ветра от высоты – 0,19. С помощью этого показателя будет аппроксимироваться скорость в атмосферном слое 20 м над поверхностью земли.

29. По формуле (94) с использованием таблицы № 7-6 приложения № 7 к Руководству определяем масштаб Монина–Обухова – бесконечно большая величина.

30. По формуле (95) определяем динамическую скорость – 0,35 м/с.

31. С использованием таблицы № 7-6 приложения № 7 к Руководству определяем необходимый коэффициент для расчета рассеяния.

32. 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).

33. Согласно разделу VI Руководства определяем размеры зон со взрывоопасной концентрацией.

Результаты расчета зон с концентрацией ВКПР, НКПР и 0,5 НКПР представлены на рисунках 9-9, 9-10 приложения № 9 к Руководству. На рисунке 9-9 приложения № 9 к Руководству показаны границы этих зон на поверхности земли, а на рисунке 9-10 приложения № 9 к Руководству – в вертикальной плоскости, проходящей через ось выброса. Положению места выброса на этих рисунках соответствуют пространственные координаты (0, 0, 0).

Значения концентраций, $\text{кг}/\text{м}^3$ (плоскость XU , $Z = 0,0$ м)

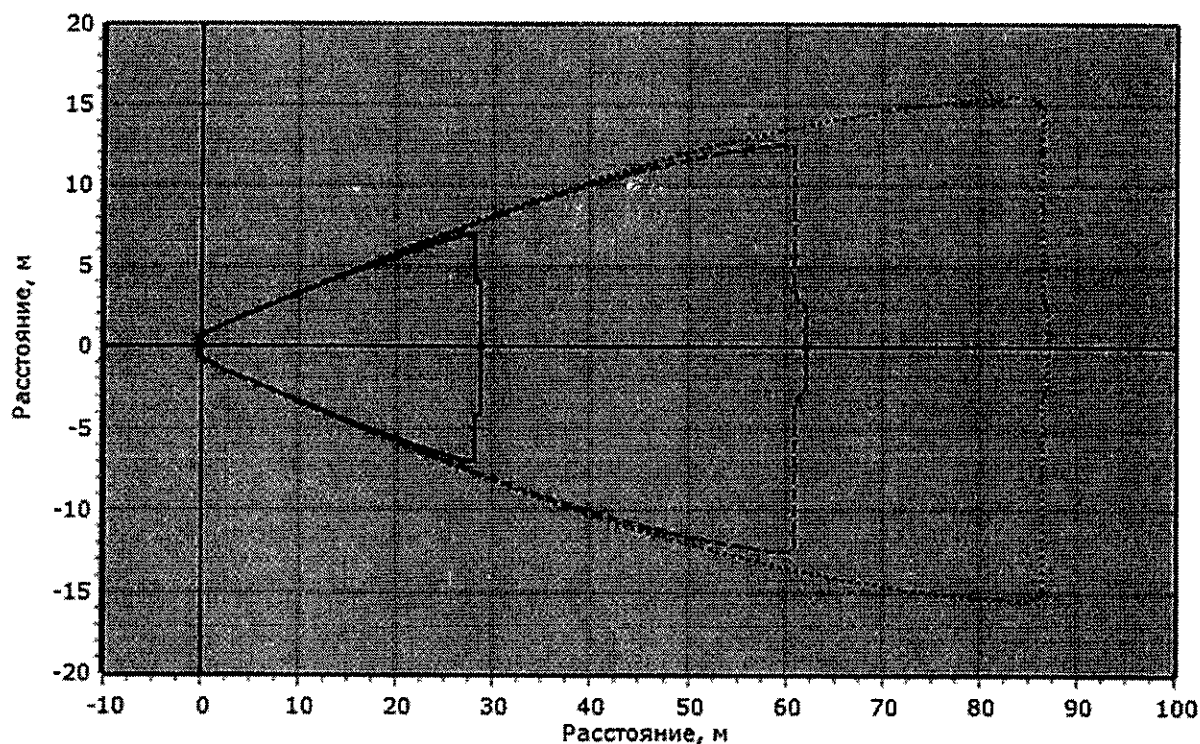


Рисунок 9-9. Зоны достижения концентрацией НКПР (сплошная линия) и 0,5·НКПР (штриховая линия) на поверхности земли при выбросе пропана (пример 4)

Значения концентраций, $\text{кг}/\text{м}^3$ (плоскость XU , $Y = 0,0$ м)

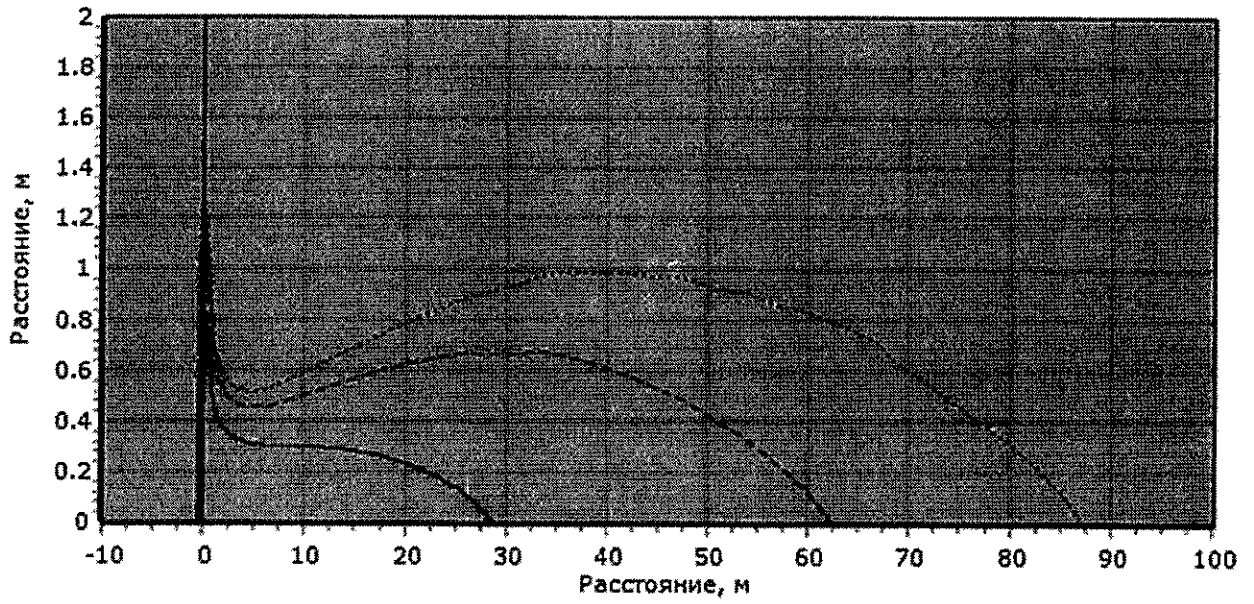


Рисунок 9-10. Зоны достижения концентрацией ВКПР, НКПР и 0,5·НКПР в вертикальной плоскости, проходящей через ось выброса, при выбросе пропана (пример 4)

Приложение № 10
к Руководству по безопасности
«Методика моделирования
распространения аварийных выбросов
опасных веществ», утвержденному
приказом Ростехнадзора
от «08» ноября 2022 г. № 385

**Блок-схема
расчета последствий аварийного выброса опасных веществ**

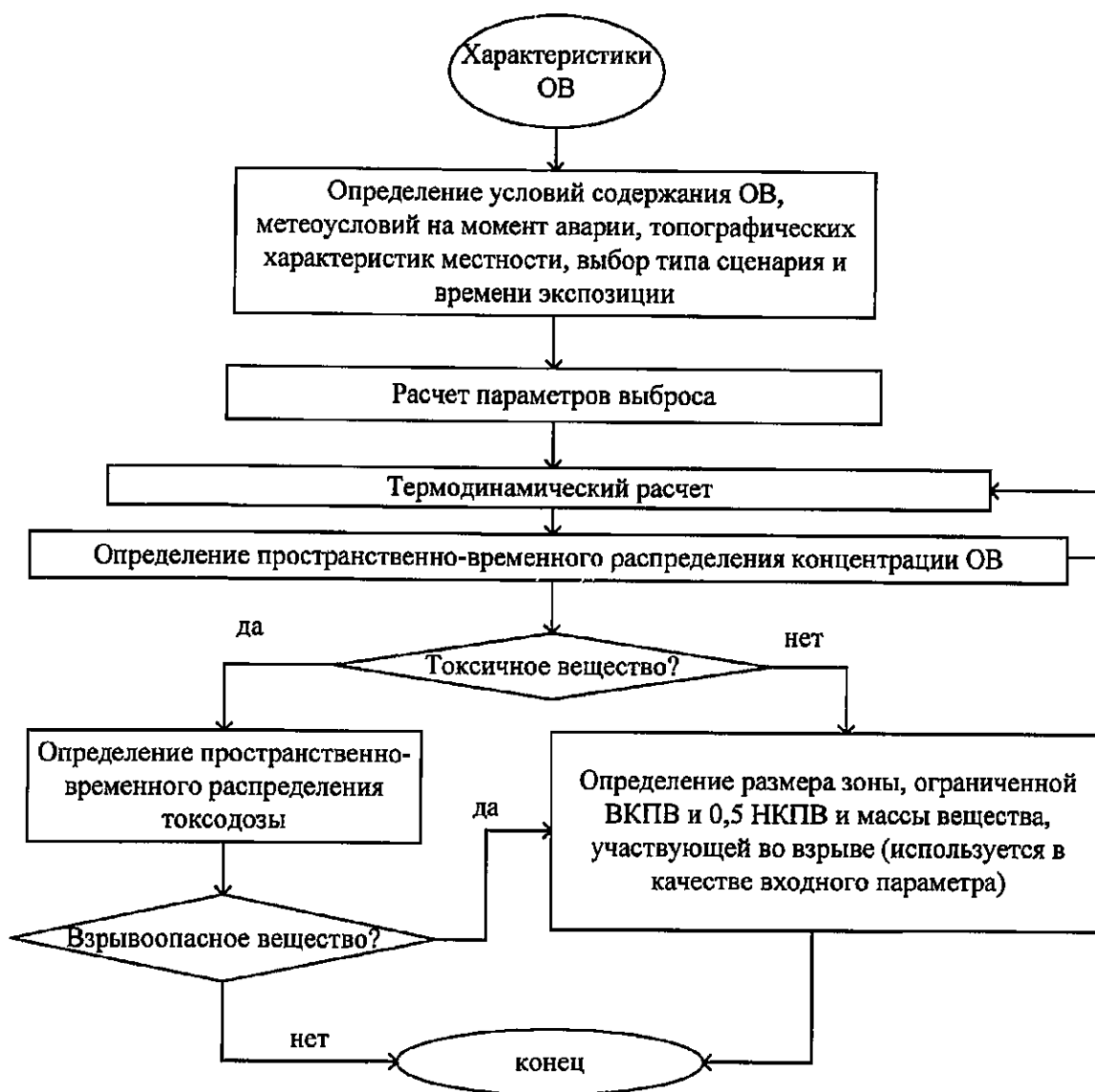


Рисунок 10-1. Блок-схема расчета последствий аварийного выброса опасных веществ

Приложение № 11
к Руководству по безопасности
«Методика моделирования
распространения аварийных выбросов
опасных веществ», утвержденному
приказом Ростехнадзора
от «04» ноября 2022 г. № 385

**Рекомендации
по учету сложных многокомпонентных смесей**

Руководство применимо для случаев выброса сложных многокомпонентных смесей различных опасных веществ, 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 γ (C_p/C_v) выбирается показатель адиабаты, соответствующий составу газовой фазы либо находящейся изначально в оборудовании (сценарии 1, 2 раздела III Руководства), либо образующейся после испарения (кипения) перегретой жидкой фазы (сценарии 3, 4 раздела III 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 опасного вещества 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 ($\Delta H_{\text{исп}}$) выбирается величина, обеспечивающая испарение наблюдаемого на практике количества перегретой жидкости для выбранных значений температуры кипения ($T_{\text{кип}}$) 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 Руководства), либо образующейся после испарения (кипения) перегретой жидкой фазы (сценарии 3, 4 раздела III Руководства).

В качестве теплоемкости газа (C_v) выбирается величина, соответствующая составу газовой фазы либо находящейся изначально в оборудовании (сценарии 1, 2 раздела III Руководства), либо образующейся после испарения (кипения) перегретой жидкой фазы (сценарии 3, 4 раздела III 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 $\rho_{\text{ж}}$, $T_{\text{кип}}$, C_p и $\Delta H_{\text{исп}}$ 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 опасного вещества в облаке (приложение № Приложение № к 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 PCt_{50} , смертельная токсодоза LCt_{50} , коэффициенты пробит-функции) определяются на основе эмпирических данных;

стехиометрическая концентрация определяется на основе соответствующего состава газовой фазы.

Приложение № 12
к Руководству по безопасности
«Методика моделирования
распространения аварийных выбросов
опасных веществ», утвержденному
приказом Ростехнадзора
от «07» 10/2022 2022 г. № 385

**Рекомендации
по применению термодинамических расчетов**

При использовании Руководства рекомендуется применять также термодинамические расчеты, которые позволят для системы, находящейся изначально при определенных 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 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 равным 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 равным составу в неразрушенном оборудовании;

для расчета интенсивности кипения пролива решается 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, проливающейся 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 опасного вещества, распространяющегося в атмосфере, внутренней энергии (энтальпии) воздуха, смешивающегося с опасным веществом в ходе распространения с выбросом, а также энергии, поступающей за счет теплообмена с подстилающей поверхностью.

Приложение № 13
к Руководству по безопасности
«Методика моделирования
распространения аварийных выбросов
опасных веществ», утвержденному
приказом Ростехнадзора
от «08» ноября 2022 г. № 385

**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 (опасное вещество – 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 $q_i^{\text{разб}}$ - расходы воздуха во вторичных облаках в начале рассеяния. Эти величины определяются путем умножения соответствующих масс (расходов) опасного вещества в первичных (Q_i) или вторичных (q_i') облаках на коэффициенты $\alpha_{i \text{ возд}}$ для первичных облаков или α_i' для вторичных: $Q_i^{\text{разб}} = \alpha_{i \text{ возд}} \cdot Q_i$; $q_i^{\text{разб}} = q_i' \cdot \alpha_i'$.

За счет динамических и (или) гравитационных эффектов при истечении опасного вещества 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 $\alpha_{i \text{возд}}^l$, 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 $q_i^{\text{разб}}$ с использованием приложения № 8 к Руководству, определяются параметры облака, разбавленного воздухом, непосредственно в начале рассеяния, а именно:

плотность смеси после подмешивания воздуха ($\rho_{\text{эффи}}$ - для первичного облака или $\rho_{\text{эффи}}^l$ - для вторичных облаков);

температура смеси после подмешивания воздуха ($T_{\text{эффи}}$ - для первичного облака или $T_{\text{эффи}}^l$ - для вторичных облаков);

масса опасного вещества в жидкой фазе после подмешивания воздуха ($Q_{\text{жи}}$ - для первичного облака или $q_{\text{жи}}^l$ - для вторичных облаков).

При расчете вместо используемых в формулах (205)–(213) величин $Q_{\text{сумi}}$ для первичных облаков и $q_{\text{сумi}}^l$ - для вторичных облаков рекомендуется использовать рассчитанные вышеуказанным образом величины $Q_i^{\text{разб}} + Q_i$ для первичных и $q_i^{\text{разб}} + q_i^l$ для вторичных облаков.

Эти же величины массы первичных ($Q_i^{\text{разб}} + Q_i$) и расходов вторичных ($q_i^{\text{разб}} + q_i^l$) облаков с учетом подмешенного на начальном этапе воздуха рекомендуется использовать и для расчета начальных размеров облаков в формулах: (8), (20), (39), (41), (82), (83), (84), (86), (87), (88), (89), (90) и (91),

заменяя ими соответствующие величины массы без учета подмешивания воздуха.

Также для расчета начальных размеров облаков в (8), (20), (39), (41), (82), (83), (84), (86), (87), (88), (89), (90) и (91) рекомендуется вместо плотностей чистых опасных веществ (без подмешивания воздуха) использовать плотности $\rho_{эффi}$ (для первичного облака) и $\rho'_{эффi}$ (для вторичных облаков), рассчитанные как указано в приложении № 8 к 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 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.

Приложение № 14
к Руководству по безопасности
«Методика моделирования
распространения аварийных выбросов
опасных веществ», утвержденному
приказом Ростехнадзора
от «04» ноября 2022 г. № 385

**Рекомендации
по учету температурной зависимости свойств опасного вещества**

При использовании Руководства рекомендуется также учитывать зависимость свойств опасного вещества 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 Руководству. При этом в термодинамических расчетах рекомендуется учитывать температурную зависимость свойств опасного вещества 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 по безопасности
«Методика моделирования
распространения аварийных выбросов
опасных веществ», утвержденному
приказом Ростехнадзора
от «02» ноября 2022 г. № 385

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 (189), описывающие гравитационное растекание, не используются,

величина r_i (или, соответственно, b_i') фиксируются и перестают изменяться;

величины эффективного радиуса ($R_{эффi}$) (или, соответственно, полуширины ($B_{эффi}'$)) рассчитываются по формулам (99) и (181).

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.
