

**Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору
(Ростехнадзор)**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ПО БЕЗОПАСНОСТИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ
(ФГУП «НТЦ «ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»)**

УДК 658.382.3:331.461.2
Инв. № _____
Файл Токси_3.3_проект.doc

УТВЕРЖДАЮ

Директор
ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность»
д-р техн. наук
_____ В.И.Сидоров
" ____ " _____ 2005 г.

**МЕТОДИКА
ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ ОПАСНЫХ
ВЕЩЕСТВ
(Методика «Токси». Редакция 3.1)**

ПРОЕКТ

Москва 2005

ВВЕДЕНИЕ

Методика оценки последствий аварийных выбросов опасных веществ (далее — методика) предназначена для оценки зон распространения опасных веществ (ОВ) при промышленных авариях.

Методика позволяет определить:

количество поступивших в атмосферу ОВ при различных сценариях аварии;

пространственно-временное поле концентраций ОВ в атмосфере;

размеры зон химического заражения, соответствующие различной степени поражения людей, определяемой по ингаляционной токсодозе, в том числе с учетом времени накопления токсодозы (с учетом пробит-функции);

размеры зон дрейфа пожаровзрывоопасных облаков, в пределах которых сохраняется способность к воспламенению, и размеры зон распространения пламени (пожара-выпрыжки) или детонации, появления горячих продуктов;

количество ОВ в облаке, ограниченном концентрационными пределами воспламенения.

Методика рекомендуется для использования:

при разработке декларации безопасности опасных производственных объектов, на которых производятся, используются, транспортируются или хранятся ОВ;

при разработке мероприятий по защите персонала и населения;

при разработке планов локализации и ликвидации последствий аварий, сопровождаемых выбросом ОВ.

при проектировании объектов, на которых производятся, используются, транспортируются или хранятся ОВ.

Из-за сложности расчетов целесообразно реализовать методику в виде компьютерной программы¹.

Настоящая методика разработана Научно-техническим центром по безопасности в промышленности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность»).

В разработке методики принимали участие д.т.н. А.С. Печеркин, к.т.н. А.А. Шаталов, д.т.н. В.И. Сидоров, д.т.н. М.В. Лисанов, к.т.н. А.А. Агапов, к.ф.-м.н. А.В. Пчельников, С.И. Сумской.

ТЕРМИНЫ И СОКРАЩЕНИЯ

Предельно допустимая концентрация опасного вещества (ПДК) — максимальное количество опасных веществ в почве, воздушной или водной среде, измеряемое в единице объема или массы, которое при постоянном контакте с человеком или при воздействии на него за определенный промежуток времени практически не влияет на здоровье людей и не вызывает неблагоприятных последствий (ГОСТ Р 22.0.05–94).

Опасные вещества (ОВ) — воспламеняющиеся, окисляющие, горючие, взрывчатые, токсичные, высокотоксичные вещества и вещества, представляющие опасность для окружающей природной среды, перечисленные в приложении 1 к Федеральному закону «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ.

Авария — разрушение сооружений и(или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемый взрыв и(или) выброс опасных

¹ Программу «Токси» можно получить в Научно-техническом центре по безопасности в промышленности Ростехнадзора (ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность»). <http://www.safety.ru>.

веществ (Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ).

Химическая авария — авария на химически опасном объекте, сопровождающаяся проливом или выбросом опасных химических веществ, способная привести к гибели или химическому заражению людей, продовольствия, пищевого сырья и кормов, сельскохозяйственных животных и растений, или к химическому заражению окружающей природной среды (ГОСТ Р 22.0.05–94).

Химическое заражение — распространение опасных химических веществ в окружающей природной среде в концентрациях или количествах, создающих угрозу для людей, сельскохозяйственных животных и растений в течение определенного времени (ГОСТ Р 22.0.05–94).

Выброс опасного химического вещества — выход из технологических установок, емкостей для хранения или транспортирования опасного химического вещества или продукта в количестве, способном вызвать химическую аварию (ГОСТ Р 22.0.05–94).

Пролив опасных химических веществ — вытекание при разгерметизации из технологических установок, емкостей для хранения или транспортирования опасного химического вещества или продукта в количестве, способном вызвать химическую аварию (ГОСТ Р 22.0.05–94).

Опасный производственный объект — предприятие или его цеха, участки, площадки, а также иные производственные объекты, указанные в Приложении 1 к Федеральному закону «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ.

Зона химического заражения — территория или акватория, в пределах которой распространены или куда привнесены опасные химические вещества в концентрациях или количествах, создающих опасность для жизни и здоровья людей, для сельскохозяйственных животных и растений в течение определенного времени (ГОСТ Р 22.0.05–94).

Концентрационные пределы распространения пламени (воспламенения) — нижний (верхний) концентрационный предел распространения пламени (далее НКПВ (ВКПВ)) — 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).

Облако ОВ — область пространства, ограниченная поверхностями заданной концентрации ОВ.

Первичное облако — облако ОВ, образующееся в результате очень быстрого (за 1–2 минуты) перехода в атмосферу части ОВ и распространяющееся по ветру от места выброса; в первичном облаке может существовать ядро – область пространства, в которой концентрация на заданной высоте постоянна (не изменяется при перемещении в горизонтальном направлении, хотя может изменяться при перемещении по вертикале).

Вторичное облако (или шлейф) — облако ОВ, образующееся в результате длительного выброса газа или сжиженного газа, а также в результате испарения ОВ 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 направлению ветра, хотя может изменяться при перемещении по вертикали).

Пожар-вспышка – распространение пламени в дефлаграционном режиме по заранее перемешанной смеси топлива и воздуха.

«Тяжелый» газ – смесь воздуха, газовой фазы и капель ОВ, плотность которой выше плотности окружающего воздуха.

Ингаляционная токсодоза — интеграл по времени концентрации ОВ в воздухе; при условно постоянной во времени концентрации ОВ в заданной точке — произведение концентрации ОВ в воздухе на время экспозиции.

Время экспозиции — время, за которое набирается ингаляционная токсодоза (верхний предел интегрирования концентрации по времени в формуле расчета токсодозы).

Пороговая токсодоза — наименьшая ингаляционная токсодоза ОВ, вызывающая у человека, не оснащенного средствами защиты органов дыхания, начальные признаки поражения организма с определенной вероятностью (табулированное значение для каждого ОВ).

Смертельная (или летальная) токсодоза — наименьшая ингаляционная токсодоза ОВ, вызывающая у человека, не оснащенного средствами защиты органов дыхания, смерть с 50 % вероятностью (табулированное значение для каждого ОВ).

Ликвидация аварии — прекращение поступления в окружающую среду ОВ из разрушенного оборудования и устранение его с места выброса либо в результате аварийно-спасательных действий, либо в результате естественного испарения.

Разрушение оборудования — существенное нарушение целостности оборудования с образованием отверстий с размером, сопоставимым с размерами оборудования, при этом содержащееся в оборудовании ОВ в жидком или газообразном состоянии мгновенно выбрасывается в окружающую среду.

Разгерметизация оборудования — образование в оборудовании отверстий с размером, существенно меньшим, чем размеры оборудования, через которые ОВ в жидком или газообразном состоянии в течение некоторого времени поступает в окружающую среду.

Отсечение аварийного участка трубопровода (отсечение аварийного потока) — остановка насоса (компрессора), стоящего на входе трубопровода, и (или) срабатывание запорной арматуры (задвижек), установленной на трубопроводе; прекращение подачи ОВ к месту выброса ОВ из трубопровода. При отсутствии трубопровода, но наличии истечения из емкости термин «отсечение аварийного участка» относится к прекращению истечения из отверстия, т. е. к закупориванию отверстия.

Отсекаемый участок аварийного трубопровода — участок трубопровода, на котором происходит выброс ОВ, между двумя ближайшими к месту выброса задвижками (насосами (компрессорами) и задвижками), которые при срабатывании (отключении) блокируют аварийный участок трубопровода.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ И РАЗМЕРНОСТЕЙ

B_i^l — полуширина вторичного облака в начальном сечении для l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $B_i^l = B_i^{\text{ж}}, B_i^{\text{отс выб}}, B_i^{\text{г}}, B_i^{\text{гн}}, B_i^{\text{н}}, B_i^{\text{е}}$), м;

$B_{\text{эффи}}^l$ — эффективная полуширина вторичного облака для l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $B_{\text{эффи}}^l = B_{\text{эффи}}^{\text{ж}}, B_{\text{эффи}}^{\text{отс выб}}, B_{\text{эффи}}^{\text{г}}, B_{\text{эффи}}^{\text{гн}}, B_{\text{эффи}}^{\text{н}}, B_{\text{эффи}}^{\text{е}}$), м;

C_p — теплоемкость жидкого ОВ, Дж/кг/°К;

C_v — теплоемкость газообразного ОВ, Дж/кг/°К;

$C_{\text{возд}}$ — теплоемкость воздуха, Дж/кг/°К;

- C_{pi} — эффективная теплоемкость вещества в первичном облаке в i -ом сценарии, Дж/кг/ К;
- $C_{pгаз}$ — теплоемкость газообразного ОВ, Дж/кг/°К;
- $C_{pвозд}$ — теплоемкость воздуха, Дж/кг/°К;
- C_{pi}^l — эффективная теплоемкость вещества во вторичном облаке для l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии, (при различных l $C_{pi}^l = C_{pi}^ж, C_{pi}^{отс.выб}, C_{pi}^г, C_{pi}^{ги}, C_{pi}^и, C_{pi}^е$), Дж/кг;
- D_i — ингаляционная токсодоза в точке в i -м сценарии, кг·с/м³;
- D_i^0 — составляющая ингаляционной токсодозы в точке от прохождения первичного облака в i -м сценарии, кг·с/м³;
- $D_{i\max}^0$ — составляющая токсодозы в точке на оси $y = 0, z = 0$ от прохождения первичного облака в i -м сценарии, кг·с/м³;
- $D_{i\max}$ — токсодоза в точке на оси $y = 0, z = 0$ за все время экспозиции в i -м сценарии (максимальная токсодоза на земле на расстоянии x от места выброса), кг·с/м³;
- D_i^l — составляющая токсодозы (за соответствующее время экспозиции) от прохождения вторичного облака, образующегося на l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии, (при различных l $D_i^l = D_i^ж, D_i^{отс.выб}, D_i^г, D_i^{ги}, D_i^и, D_i^е$), кг·с/м³;
- $D_{i\max}^l$ — составляющая токсодозы (за соответствующее время экспозиции) в точке на оси $y = 0, z = 0$ от прохождения вторичного облака, образующегося, образующегося на l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии, (при различных l $D_{i\max}^l = D_{i\max}^ж, D_{i\max}^{отс.выб}, D_{i\max}^г, D_{i\max}^{ги}, D_{i\max}^и, D_{i\max}^е$), кг·с/м³;
- $D_{тр}$ — диаметр трубопровода, м;
- $E_{пов\ i}$ — удельный тепловой поток энергии от подстилающей поверхности в первичное облако в i -ом сценарии, Дж/м²;
- $E_{пов\ i}^l$ — удельный тепловой поток энергии от подстилающей поверхности во вторичное облако для l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $E_{пов\ i}^l = E_{пов\ i}^ж, E_{пов\ i}^{отс.выб}, E_{пов\ i}^г, E_{пов\ i}^{ги}, E_{пов\ i}^и, E_{пов\ i}^е$), Дж/м²/с;
- $E_{пов\ ест\ i}$ — удельный тепловой поток энергии от подстилающей поверхности в первичное облако за счет естественная конвекция в i -ом сценарии, Дж/м²;
- $E_{пов\ вын\ i}$ — удельный тепловой поток энергии от подстилающей поверхности в первичное облако за счет вынужденная конвекция в i -ом сценарии, Дж/м²;
- $E_{пов\ ест\ i}^l$ — удельный тепловой поток энергии от подстилающей поверхности во вторичное облако за счет естественной конвекции для l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $E_{пов\ ест\ i}^l = E_{пов\ ест\ i}^ж, E_{пов\ ест\ i}^{отс.выб}, E_{пов\ ест\ i}^г, E_{пов\ ест\ i}^{ги}, E_{пов\ ест\ i}^и, E_{пов\ ест\ i}^е$), Дж/м²/с;
- $E_{пов\ вын\ i}^l$ — удельный тепловой поток энергии от подстилающей поверхности во вторичное облако за счет вынужденной конвекции для l -ой стадии поступления

- ОВ 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/м²/с;
- $E_{\text{эфф.}i}$ — эффективная внутренняя энергия в первичном облаке в i -ом сценарии, Дж;
- $E_{\text{эфф.}i}^l$ — эффективный расход внутренней энергии во вторичном облаке для l -ой стадии поступления ОВ 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;
- F — площадь поверхности пролива жидкого ОВ, м²;
- F' — площадь поверхности пролива жидкого ОВ при образовании первичного облака в сценарии 4, м²;
- $F^{\text{конт}}$ — площадь контакта жидкого ОВ с подстилающей поверхностью при проливе, м²;
- $\Delta H_{\text{кип}}$ — теплота испарения жидкого ОВ, Дж/кг;
- H — высота столба жидкости ОВ 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 ОВ в начальный момент времени в i -м сценарии, м;
- $H_{\text{эфф.}i}$ — эффективная высота первичного облака в i -ом сценарии, м
- $H_{\text{эфф.}i}^l$ — эффективная высота вторичного облака для l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $H_{\text{эфф.}i}^l = H_{\text{эфф.}i}^{\text{ж}}$, $H_{\text{эфф.}i}^{\text{отс.выб.}}$, $H_{\text{эфф.}i}^{\text{г.}}$, $H_{\text{эфф.}i}^{\text{ги}}$, $H_{\text{эфф.}i}^{\text{и}}$, $H_{\text{эфф.}i}^{\text{е}}$), м;
- H_i^l — высота вторичного облака в начальном сечении для l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $H_i^l = H_i^{\text{ж}}$, $H_i^{\text{отс.выб.}}$, $H_i^{\text{г.}}$, $H_i^{\text{ги}}$, $H_i^{\text{и}}$, $H_i^{\text{е}}$), м;
- $H_{\text{тр}}^{\text{отс}}$ — высота столба жидкого ОВ в трубопроводе над уровнем отверстия, через которое происходит истечение, м; берется на момент отсечения аварийного участка трубопровода; если количество ОВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса, принимается равной 0 м;
- K — вспомогательная величина, зависящая от длины участка трубопровода L от входа до места разгерметизации;
- L — длина участка трубопровода от входа до места разгерметизации, м;
- $L_{\text{МО}}$ — масштаб Монина-Обухова, м
- P_i — давление в оборудовании в i -м сценарии, Па; при истечении из трубопровода, на входе которого стоит насос (компрессор) принимается равной давлению на выходе насоса (компрессора);
- P_0 — давление в окружающей среде, кПа; при нормальных условиях принимается равным 101,325 кПа;
- Q — общая масса ОВ 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_i — масса ОВ (включая жидкую и газообразную фазы), образующая первичное облако в i -м сценарии, кг;
- $Q_{ж\ i}$ — масса ОВ, находящаяся в первичном облаке в жидком (капельном) виде в i -ом сценарии, кг;
- $Q_{тр}$ — общая масса ОВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода, кг; включает массу жидкости в сценарии 4 или массу газа в сценарии 2; при выбросах ОВ из емкости задается равной нулю;
- Q^g — масса газообразного ОВ в оборудовании, кг;
- Q_3^g — масса ОВ, переходящая в первичное облако в виде газа при мгновенном вскипании перегретого ОВ в сценарии 3, кг;
- $Q_{отс}^g$ — масса газообразного ОВ в аварийном участке трубопровода на момент отсечения, кг; при истечении из трубопровода в сценарии 4 принимается равной 0 кг, если количество ОВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса;
- $Q^{ж}$ — масса жидкого ОВ в оборудовании (при истечении из трубопровода с насосом на входе равно $Q_H^{ж}$), кг;
- $Q_3^{ж}$ — масса ОВ, переходящая в первичное облако в виде аэрозоля в сценарии 3, кг;
- $Q_{тротс}^{ж}$ — масса жидкого ОВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода на момент отсечения, кг; при истечении из трубопровода в сценарии 4 принимается равной 0 кг, если количество ОВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса;
- $Q_{тр}^{ж}$ — масса жидкого ОВ, способного вместиться в отсекаемом участке трубопровода; определяется перемножением объема отсекаемого участка трубопровода на плотность жидкого ОВ, кг;
- $Q_H^{ж}$ — масса жидкого ОВ 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 отверстие разгерметизации выше уровня жидкости, то величина принимается равной 0 кг; если истечение происходит из трубопровода, присоединенного к емкости, то $Q_H^{ж}$ включает и массу жидкости в трубопроводе от емкости до начала отсекаемого аварийного участка;
- $Q_{отс. тр}^{ж}$ — масса жидкого ОВ 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 ОВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса; если отверстие разгерметизации находится выше уровня жидкости, то величина принимается равной 0 кг;
- $Q_{Hтр}^{ж}$ — масса жидкого ОВ 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 ОВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса;
- $Q_3^и$ — масса ОВ, переходящая в первичное облако в виде газа при кипении пролива в сценарии 3, кг;
- R — универсальная газовая постоянная, равна 8,31 Дж/кг/моль;
- R_i — радиус первичного облака ОВ в начальный момент времени в i -м сценарии, м;

- $R_{эфф\ i}$ — эффективный радиус первичного облака в i -ом сценарии, м;
- Ri_* — число Ричардсона;
- S — площадь отверстий разгерметизации, м²;
- S_{max} — эффективная площадь эмиссии из разгерметизированного оборудования, м²;
- S_{zi} — вертикальная дисперсия при рассеянии первичного облака в i -м сценарии, м;
- S_{yi} — горизонтальная дисперсия при рассеянии первичного облака в i -м сценарии, м;
- $S_{обор}$ — максимальная площадь поверхности жидкости внутри оборудования, м²;
- $S_{тр}$ — площадь поперечного сечения трубопровода, м²;
- T_i — температура, при которой находится ОВ внутри оборудования, в i -м сценарии, °K;
- $T_{эфф\ i}$ — эффективная температура среды в первичном облаке в i -ом сценарии, K;
- $T_{эфф\ i}^l$ — эффективная температура среды во вторичном облаке для l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии, (при различных l $T_{эфф\ i}^l = T_{эфф\ i}^{ж}$, $T_{эфф\ i}^{отс\ выб}$, $T_{эфф\ i}^{\Gamma}$, $T_{эфф\ i}^{ги}$, $T_{эфф\ i}^{и}$, $T_{эфф\ i}^e$), K;
- $T_{возд}$ — температура воздуха, °K;
- $T_{кип}$ — температура кипения жидкого ОВ при давлении P_0 , °K;
- $T_{п}$ — температура подстилающей поверхности, на которую происходит пролив жидкой фазы ОВ, °K;
- $T_{пов\ рас}$ — температура подстилающей поверхности, над которой происходит рассеяние выброса, °C;
- V_i — объем оборудования в i -м сценарии; при выбросе с трубопровода, на входе которого стоит компрессор (насос), принимается равным бесконечной величине, м³;
- $V_{эфф\ i}$ — эффективный удельный объем среды в первичном облаке в i -ом сценарии, м³/кг;
- $V_{эфф\ i}^l$ — эффективный удельный объем среды во вторичном облаке для l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии, (при различных l $V_{эфф\ i}^l = V_{эфф\ i}^{ж}$, $V_{эфф\ i}^{отс\ выб}$, $V_{эфф\ i}^{\Gamma}$, $V_{эфф\ i}^{ги}$, $V_{эфф\ i}^{и}$, $V_{эфф\ i}^e$), м³/кг;
- b_i^l — полуширина центральной части (ядра) вторичного облака для l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии, (при различных l $b_i^l = b_i^{ж}$, $b_i^{отс\ выб}$, b_i^{Γ} , $b_i^{ги}$, $b_i^{и}$, b_i^e), м;
- c_i — концентрация ОВ в воздухе (далее — концентрация) в некоторый момент времени в некоторой точке в i -м сценарии, кг/м³;
- $c_{ци}$ — концентрация ОВ в центре облака при прохождении первичного облака в i -м сценарии, кг/м³;
- $c_{ци}^l$ — концентрация ОВ в центре (на оси) облака при прохождении вторичного облака в i -м сценарии на l -ом этапе (при различных l $c_{ци}^l = c_{ци}^{ж}$, $c_{ци}^{отс\ выб}$, $c_{ци}^{\Gamma}$, $c_{ци}^{ги}$, $c_{ци}^{и}$, $c_{ци}^e$), кг/м³;

- c_i^0 — концентрация ОВ при прохождении первичного облака в i -м сценарии, кг/м³;
- c_i^l — концентрация при прохождении вторичного облака, образующегося на l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии, (при различных l $c_i^l = c_i^ж$, $c_i^{отс\ выб}$, $c_i^г$, $c_i^{гн}$, $c_i^и$, $c_i^е$), кг/м³;
- $C_{ВКПВ}$ — концентрация топлива (пожаровзрывоопасного вещества) в смеси с воздухом, соответствующая ВКПВ, кг/м³;
- $C_{НКПВ}$ — концентрация топлива (пожаровзрывоопасного вещества) в смеси с воздухом, соответствующая НКПВ, кг/м³;
- c_{Π} — теплоемкость подстилающей поверхности, Дж/кг/°К;
- $e_{возд}$ — удельная внутренняя энергия подмешиваемого воздуха, Дж/кг;
- g — ускорение свободного падения, равно 9,81 м/с²;
- k_L — вспомогательный коэффициент для вычисления масштаба Мони́на-Обухова;
- p — вспомогательный коэффициент для вычисления масштаба Мони́на-Обухова;
- p_n — давление насыщенного пара ОВ при температуре воздуха, мм рт. ст.;
- $p_n(T_4)$ — давление насыщенных паров ОВ при температуре T_4 , Па;
- q_4' — скорость поступления в атмосферу газообразного ОВ, образующегося при мгновенном вскипании жидкой фазы в случае истечения жидкого ОВ из разрушенного оборудования в сценарии 4, кг/с;
- q_4'' — скорость поступления в атмосферу ОВ в виде аэрозольных включений, образующихся при мгновенном вскипании жидкой фазы в случае истечения жидкого ОВ из разрушенного оборудования в сценарии 4, кг/с;
- $q_4'_{отс}$ — скорость поступления в атмосферу газообразного ОВ, образующегося при мгновенном вскипании жидкой фазы в случае истечения жидкого ОВ из разрушенного трубопровода после отсечения аварийного участка в сценарии 4, кг/с; принимается равной 0 кг/с, если количество ОВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса;
- $q_4''_{отс}$ — скорость поступления в атмосферу ОВ в виде аэрозольных включений, образующихся при мгновенном вскипании жидкой фазы в случае истечения жидкого ОВ из разрушенного трубопровода после отсечения аварийного участка в сценарии 4, кг/с; принимается равной 0 кг/с, если количество ОВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса;
- $q_{выб}$ — скорость выброса жидкого ОВ при истечении жидкого ОВ из разрушенного оборудования в сценарии 4, кг/с;
- q_{ji}^l — суммарный расход ОВ, находящегося в жидком (капельном) виде, во вторичном облаке для l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $q_{ji}^l = q_{ji}^ж$, $q_{ji}^{отс\ выб}$, $q_{ji}^г$, $q_{ji}^{гн}$, $q_{ji}^и$, $q_{ji}^е$), кг/с;
- $q_{сумi}^l$ — эффективный суммарный расход воздуха и ОВ (включая жидкую и газообразную фазы) во вторичном облаке для l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $q_{сумi}^l = q_{сумi}^ж$, $q_{сумi}^{отс\ выб}$, $q_{сумi}^г$, $q_{сумi}^{гн}$, $q_{сумi}^и$, $q_{сумi}^е$), кг/с;
- $q^{комп}$ — расход компрессора, кг/с; необходим при расчете выброса с трубопровода, на входе которого стоит компрессор, в случае, если площадь отверстия

- разгерметизации трубопровода превосходит 20 % площади поперечного сечения трубопровода;
- $q^{\text{насос}}$ — расход насоса, кг/с; необходим при расчете выброса с трубопровода, на входе которого стоит насос, в случае, если площадь отверстия разгерметизации трубопровода превышает 20 % площади поперечного сечения трубопровода;
- q_i^l — расход ОВ во вторичном облаке, образующемся на l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $q_i^l = q_i^{\text{ж}}, q_i^{\text{отс выб}}, q_i^{\text{г}}, q_i^{\text{гн}}, q_i^{\text{н}}, q_i^{\text{с}}$), кг/с; $q_i^{\text{отс выб}}$ принимается равным 0 кг/с, если количество ОВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общего количества выброса;
- $q^{\text{отс выб}}$ — скорость выброса ОВ при истечении жидкого ОВ из разрушенного оборудования после отсечения аварийного участка трубопровода в сценарии 4, кг/с;
- k — константа Кармана, равна 0,41;
- r — радиус центральной части (ядра) первичного облака в i -ом сценарии, м;
- t — время, с;
- t_0 — момент времени, для которого определяются размеры зоны 0,5 НКПВ, с;
- t_{max} — время достижения максимальной концентрации в данной точке, с;
- $t_{\text{исп}}$ — длительность испарения пролива после окончания истечения жидкого ОВ в случае если продолжается истечение газовой фазы, с;
- $t_{\text{кип}}$ — время, в течение которого ОВ поступает в первичное облако из-за интенсивного кипения жидкого ОВ в проливе за счет теплопритока от подстилающей поверхности, с;
- $t_{\text{ликвид}}$ — время ликвидации отверстий разгерметизации и пролива, с; если это не происходит, принимается равным бесконечности;
- $t_{\text{отс}}$ — время отсечения аварийного участка (время остановки компрессора (насоса)), с;
- $t_{\text{экс}}$ — время экспозиции, с;
- t' — составляющая времени формирования первичного облака от начала выброса до времени отсечения аварийного участка трубопровода в сценарии 4, с;
- $t'_{\text{исп}}$ — вспомогательная величина при расчете t' , с;
- $t'_{\text{отс}}$ — составляющая времени формирования первичного облака от времени отсечения аварийного участка трубопровода до окончания формирования первичного облака в сценарии 4, с;
- $t''_{\text{исп}}$ — вспомогательная величина при расчете $t'_{\text{отс}}$, с;
- t_i^l — длительность поступления ОВ в атмосферу за счет истечения/испарения (время формирования соответствующего вторичного облака) на l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $t_i^l = t_i^{\text{ж}}, t_i^{\text{отс выб}}, t_i^{\text{г}}, t_i^{\text{гн}}, t_i^{\text{н}}, t_i^{\text{с}}$), с; $t_i^{\text{отс выб}}$ принимается равным 0 с, если количество ОВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общего количества выброса;
- $t_{\text{max}}^{\text{г}}$ — максимально возможная длительность истечения газообразного ОВ из разрушенного оборудования в сценарии 4, с;
- u_* — характерная скорость трения, м/с;

- $u_{0эффi}^0$ — эффективная скорость движения первичного облака в i -ом сценарии непосредственно на месте выброса, м;
- $u_{эффi}^l$ — эффективная скорость движения вторичного облака для l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $u_{эффi}^l = u_{эффi}^{ж}, u_{эффi}^{отс\ выб}, u_{эффi}^{г}, u_{эффi}^{гн}, u_{эффi}^{и}, u_{эффi}^{е}$), м;
- u_{10} — скорость ветра на высоте z_{10} , м/с;
- $u_{подм}^{верх}$ — скорость подмешивания воздуха в облако в вертикальном направлении, м/с;
- $u_{эффi}$ — эффективная скорость движения первичного облака в i -ом сценарии, м;
- $u_{эффi}^l$ — эффективная скорость движения вторичного облака для l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $u_{эффi}^l = u_{эффi}^{ж}, u_{эффi}^{отс\ выб}, u_{эффi}^{г}, u_{эффi}^{гн}, u_{эффi}^{и}, u_{эффi}^{е}$), м;
- 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) зоны 0,5 НКПВ, м;
- x_{3i}^l — координата задней кромки вторичного облака для l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $x_{3i}^l = x_{3i}^{ж}, x_{3i}^{отс\ выб}, x_{3i}^{г}, x_{3i}^{гн}, x_{3i}^{и}, x_{3i}^{е}$), м;
- $x_{пi}^l$ — координата передней кромки вторичного облака для l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии (при различных l $x_{пi}^l = x_{пi}^{ж}, x_{пi}^{отс\ выб}, x_{пi}^{г}, x_{пi}^{гн}, x_{пi}^{и}, x_{пi}^{е}$), м;
- $x_{ц}$ — положение 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) зоны 0,5 НКПВ; 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) зоны 0,5 НКПВ, 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;
- $\Sigma_{ВКПВ}(x,y,z)$ — соотношение, описывающее поверхность с концентрацией ВКПВ;
- $\Sigma_{0,5НКПВ}(x,y,z)$ — соотношение, описывающее поверхность с концентрацией 0,5НКПВ;
- α — объемная доля газовой фазы в оборудовании;
- α_g — показатель степенной зависимости скорости ветра от высоты;

- β — вспомогательный коэффициент, $\beta=1+\alpha_v$;
 γ — показатель адиабаты газообразного ОВ;
 $\gamma_{\text{подм}}$ — коэффициент пропорциональности в формуле для подмешивания через боковую поверхность;
 φ — вспомогательная величина при расчете характерной скорости трения;
 $\lambda_{\text{п}}$ — коэффициент теплопроводности подстилающей поверхности, Вт/с/м;
 μ — молярная масса ОВ, кг/моль;
 π — число, равное 3,14159...;
 $\rho(p_n(T_4), T_4)$ — плотность газообразного ОВ при температуре T_4 и давлении $p_n(T_4)$, кг/м³;
 ρ_i — плотность газовой фазы ОВ в оборудовании в i -м сценарии, кг/м³;
 $\rho_{\text{возд}}$ — плотность воздуха в окружающей среде, кг/м³;
 $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкого ОВ, кг/м³;
 $\rho_{\text{кип}}$ — плотность газообразного ОВ при температуре кипения и давлении P_0 , кг/м³;
 $\rho_{\text{п}}$ — плотность материала подстилающей поверхности, кг/м³;
 $\rho_{\text{эфф } i}$ — эффективная плотность среды в первичном облаке в i -ом сценарии, кг/м³;
 $\rho_{\text{эфф } i}^l$ — эффективная плотность среды во вторичном облаке для l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии, (при различных l $\rho_{\text{эфф } i}^l = \rho_{\text{эфф } i}^{\text{ж}}$, $\rho_{\text{эфф } i}^{\text{отс выб}}$, $\rho_{\text{эфф } i}^{\text{г}}$, $\rho_{\text{эфф } i}^{\text{ги}}$, $\rho_{\text{эфф } i}^{\text{и}}$, $\rho_{\text{эфф } i}^{\text{е}}$), кг/м³;
 $\rho_i^{\text{выб}}$ — плотность ОВ в первичном облаке в начальный момент времени в i -м сценарии, кг/м³;
 ρ_i^l — плотность ОВ в начальный момент времени во вторичном облаке для l -ой стадии поступления ОВ в атмосферу в i -ом сценарии, (при различных l $\rho_i^l = \rho_i^{\text{ж}}$, $\rho_i^{\text{отс выб}}$, $\rho_i^{\text{г}}$, $\rho_i^{\text{ги}}$, $\rho_i^{\text{и}}$, $\rho_i^{\text{е}}$), кг/м³; $\rho_i^{\text{отс выб}}$ принимается равной 0 кг/м³, если количество ОВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса;
 σ_y — дисперсия вдоль оси y , м;

ВЕРХНИЕ ИНДЕКСЫ

- $г$ — стадия аварии, на которой происходит истечение газообразного ОВ из оборудования при наличии пролива;
 $ги$ — стадия аварии, на которой происходит истечение газообразного ОВ из оборудования в отсутствие пролива;
 $е$ — стадия аварии, на которой происходит испарение ОВ, оставшегося в оборудовании (пролив отсутствует);
 $ж$ — стадия аварии, на которой происходит истечение жидкого ОВ из оборудования;
 $и$ — стадия аварии, на которой происходит испарение ОВ из пролива;
 $отс выб$ — стадия аварии, на которой происходит истечение жидкого ОВ 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, -1 , если величина меньше нуля, и 0, если величина 0; например, $1 = \text{sign}(5)$.

$\min$ — минимальное из всех значений, например, $3 = \min\{3, 5\}$.

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

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

например,

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

или

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

$\Gamma(a) = \int_0^{+\infty} x^{a-1} e^{-x} dx$ - 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 $e=2,71\dots$ в степени x , e^x), например, $\exp(-0,3)=0,74081822068\dots$, $\exp(1,3)=3,6692966676\dots$;

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

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

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящая методика предназначена для количественной оценки последствий аварий на опасном производственном объекте с выбросом ОВ в атмосферу. Данная методика предназначена для выбросов ОВ, плотность которых на месте выброса больше плотности воздуха при соответствующих условиях.

1.2. Методика распространяется на случаи выброса ОВ в атмосферу как в однофазном (газ или жидкость), так и в двухфазном (газ и жидкость) состоянии. Соответственно облако, рассеивающееся в атмосфере, состоит либо только из газа (воздух и ОВ), либо из газа (воздух и ОВ) и жидких аэрозольных включений (капли ОВ).

1.3. ОВ, рассматриваемые в настоящей методике, при нормальных условиях находятся либо в газообразном, либо в жидком состоянии. В технологическом оборудовании ОВ

могут находиться как в газообразном, так и в жидком состоянии. В последнем случае ОВ может быть сжижено путем повышения давления или понижения температуры.

1.4. В зависимости от агрегатного состояния ОВ в оборудовании и характера разрушения оборудования методика позволяет провести расчеты для следующих сценариев аварий (более подробно см. Приложение 1).

Для ОВ, находящегося в технологическом оборудовании в газообразном состоянии:

Сценарий 1. Полное разрушение оборудования, содержащего ОВ в газообразном состоянии.

Сценарий 2. Нарушение герметичности (частичное разрушение) оборудования, содержащего ОВ в газообразном состоянии.

Для ОВ, находящегося в технологическом оборудовании в жидком состоянии:

Сценарий 3. Полное разрушение оборудования, содержащего ОВ в жидком состоянии.

Сценарий 4. Нарушение герметичности (частичное разрушение) оборудования, содержащего ОВ в жидком состоянии.

По сценариям 1 и 3 ОВ мгновенно поступает в окружающую среду; по сценариям 2 и 4 ОВ поступает в окружающую среду через отверстия 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.

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

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

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

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

метеорологические условия — класс устойчивости атмосферы — F , скорость ветра на высоте 10 м — 1-3 м/с.

1.6. Основными элементами расчета по настоящей методике являются:

определение количества выброшенного ОВ или производительности источника поступления ОВ в атмосферу для конкретного сценария аварии и времени поступления ОВ в атмосферу;

определение пространственно-временного распределения концентрации ОВ;

определение пространственного распределения токсодозы;

определение размеров зон химического заражения;

определение размеров зон, ограниченных концентрационными пределами воспламенения ОВ;

определение массы ОВ в облаке, находящейся в пределах воспламенения.

1.7. Исходными данными для расчета являются²:

физико-химические и токсикологические характеристики ОВ;

физические характеристики воздуха;

количество и технологические параметры ОВ;

параметры оборудования, в котором обращается ОВ;

сценарий выброса ОВ в атмосферу;

² Полный перечень входных параметров для различных сценариев приведен в приложении 3.

для выброса жидкой фазы характер разлива на подстилающей поверхности и ее характеристики;

топографические характеристики территории вблизи аварийного объекта и температура поверхности, над которой распространяется выброс;

метеоусловия на момент аварии;

время экспозиции.

1.8. Границы зон химического заражения ОВ рассчитываются по смертельной и пороговой токсодозам при ингаляционном воздействии на организм человека либо по пробит-функциям, приведенным в Приложении 8 (Таблица 7, Таблица 8).

1.9. При расчете рассеяния ОВ в атмосфере используется модель рассеяния «тяжелого» газа. Модель «тяжелого» газа учитывает следующие процессы:

- движение облака в переменной по высоте скорости ветра;
- гравитационное растекание;
- рассеяние облака в вертикальном направлении за счет атмосферной турбулентности (подмешивание воздуха в облако);
- рассеяние облака в горизонтальном направлении за счет подмешивания воздуха в облако, происходящего как за счет атмосферной турбулентности, так и за счет гравитационного растекания;
- нагрев или охлаждение облака за счет подмешивания воздуха;
- фазовые переходы ОВ в облаке;
- теплообмен облака с подстилающей поверхностью.

Кроме того, в методике приняты следующие допущения:

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

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

гравитационное растекание облака ОВ учитывается с помощью эмпирической зависимости;

истечение ОВ и его испарение происходят с постоянной скоростью, соответствующей максимальной скорости истечения (испарения) (в приложении 6 указан способ, позволяющий учесть изменение скорости истечения (испарения));

разлив жидкой фазы происходит на твердой, не впитывающей поверхности;

для случаев отсутствия обвалования высота слоя разлившегося ОВ принимается равной 0,05 м;

при расчете рассеяния ОВ в атмосфере используется модель рассеяния «тяжелого» газа; осаждение на подстилающую поверхность выброса ОВ и его химические превращения при рассеянии не учитываются. Основными причинами образования «тяжелых» газов являются: молекулярный вес ОВ выше молекулярного веса воздуха (29,5 г/моль), низкая температура, наличие аэрозолей.

в методике используются стандартные характеристики атмосферы и профили ветра, а также известные скорости поступления воздуха в выброс. Для описания устойчивости атмосферы используется 6 классов устойчивости – А, В, С, D, Е и F (по Пасквилу). Первые три класса соответствуют неустойчивой стратификации атмосферы, последние два – устойчивой. Класс D – соответствует нейтральной стратификации атмосферы. Метеоусловия остаются неизменными в течение времени экспозиции, а характеристики атмосферы рассчитываются согласно соотношениям раздела 3;

в методике учитывается наличие аэрозолей в выбросе и тепломассообмен с подстилающей поверхностью;

предполагается, что в течении времени распространения облака характеристики атмосферы не меняются;

в начальный момент времени в облаках (первичном и вторичных) ОВ воздухом не разбавлено;

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

капли в облаках и пролив жидкости на подстилающую поверхность не «захламляются», т.е. их температура не опускается ниже температуры кипения;

при определении размеров зон, где возможно горение (или детонация) ТВС, предполагалось что горение (или детонация) могут быть инициированы в областях со средней концентрацией от 0,5 НКПВ до ВКПВ;

выброс происходит на уровне земли;

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

проливы жидкой фазы имеют форму квадрата, вдоль одной из сторон которого направлен ветер; в случае если поперечные размеры пролива существенно отличаются во взаимоперпендикулярных направлениях, допускается принимать поперечный размер пролива отличным от принятого в методике;

в начальный момент времени первичное облако ОВ имеет форму цилиндра (Приложение 2 рис. 11) , а сечение вторичного облако во всех сценариях представляют собой прямоугольник (см. Приложение 2 рис. 12);

фазовые переходы ОВ приводит к изменению только высоты облака.

1.10 К ограничениям методики относятся:

методика не предназначена для прогноза рассеяния в штилевых условиях;

методика не предназначена для расчета распространения выброса внутри помещений;

методика предназначена для прогноза распространения выброса в пределах 20-30 км от места выброса;

методика предназначена для прогноза распространения выброса с массой ОВ в первичном облаке не более 500 т;

методика предназначена для прогноза распространения облаков от пролива ОВ площадью не более 250 тыс. м²;

если на пути движения облака имеются препятствия, размеры которых больше размеров облака, то результаты расчетов будут иметь оценочный характер;

методика не предназначена для расчета рассеяния твердых ОВ, выпадения конденсированной фазы на подстилающую поверхность и ее повторного поступления в атмосферу.

2. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫБРОСА ОВ

2.1. В зависимости от агрегатного состояния ОВ в оборудовании и характера разрушения оборудования выбирается один из четырех сценариев, перечисленных в п. 1.4.

Конфигурация оборудования и возможные варианты его разрушения приведены в приложении 1. Стадии аварии для различных сценариев перечислены в приложении 3. Перечень необходимых исходных данных приведен в приложении 4.

2.2. В общем случае для выбранного i -го сценария рассчитываются следующие характеристики выброса:

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

Для сценария 4 при истечении из трубопровода, если количество ОВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет более 20 % общего количества выброса, рассчитываются также следующие характеристики выброса:

$$q_i^{\text{отс. выб}}, \rho_i^{\text{отс. выб}}, R_i^{\text{отс. выб}}, t_i^{\text{отс. выб}}, B_i^{\text{отс. выб}}, H_i^{\text{отс. выб}}.$$

2.2.1. Для сценария 1 характеристики выброса рассчитываются по следующим формулам:

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

если известна масса ОВ в оборудовании Q , или

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

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

$$q_1^{\text{ж}} = q_1^{\text{г}} = q_1^{\text{ги}} = q_1^{\text{и}} = q_1^{\text{е}} = q_1^{\text{отс. выб}} = 0, \quad (3)$$

$$t_1^{\text{ж}} = t_1^{\text{г}} = t_1^{\text{ги}} = t_1^{\text{и}} = t_1^{\text{е}} = t_1^{\text{отс. выб}} = 0, \quad (4)$$

$$\rho_1^{\text{выб}} = \rho_1 \left(\frac{P_0}{P_1} \right)^{\frac{1}{\gamma}}, \quad (5)$$

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

$$\rho_1^{\text{ж}} = \rho_1^{\text{г}} = \rho_1^{\text{ги}} = \rho_1^{\text{и}} = \rho_1^{\text{е}} = \rho_1^{\text{отс. выб}} = 0^3. \quad (6)$$

При отсутствии данных о начальных размерах облака рекомендуется для цилиндрического облака принимать радиус равным высоте.

$$R_1 = H_1 = \sqrt[3]{\frac{Q_1}{2\pi\rho_1^{\text{выб}}}}, \quad (7)$$

$$B_1^{\text{ж}} = B_1^{\text{г}} = B_1^{\text{ги}} = B_1^{\text{и}} = B_1^{\text{е}} = B_1^{\text{отс. выб}} = 0, \quad (8)$$

$$H_1^{\text{ж}} = H_1^{\text{г}} = H_1^{\text{ги}} = H_1^{\text{и}} = H_1^{\text{е}} = H_1^{\text{отс. выб}} = 0. \quad (9)$$

2.2.2. Для сценария 2 характеристики выброса рассчитываются по следующим формулам:

$$Q_2 = 0, \quad (10)$$

$$q_2^{\text{ги}} = 0,8S \min \left\{ \sqrt{2 \frac{\gamma}{\gamma-1} P_2 \rho_2 \left(\left(\frac{P_0}{P_2} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P_0}{P_2} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right)}, \sqrt{P_2 \rho_2 \gamma \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \right\}. \quad (11)$$

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

$$q_2^{\text{ж}} = q_2^{\text{и}} = q_2^{\text{г}} = q_2^{\text{е}} = q_2^{\text{отс. выб}} = 0, \quad (12)$$

³ Данные и нижеследующие аналогичные обнуления не имеют физического смысла и необходимы для формализации подстановок в формулах; равенство на каком-либо этапе нулю начальных размеров облака, плотности и расхода (или количества ОВ) в нем, а так же длительности поступления ОВ в атмосферу означает отсутствие данного этапа развития аварийной ситуации.

$$t_2^{\text{ги}} = \min\left(\left(Q + Q_{\text{тр}}\right)/q_2^{\text{ги}}, t_{\text{отс}} + Q_{\text{тр}}/q_2^{\text{ги}}, t_{\text{ликвид}}\right), \quad (13)$$

если известна масса ОБ в оборудовании Q , и

$$t_2^{\text{ги}} = \min\left(\frac{\mu}{R} \frac{V_2 P_2}{T_2 q_2^{\text{ги}}} + Q_{\text{тр}}/q_2^{\text{ги}}, t_{\text{отс}} + Q_{\text{тр}}/q_2^{\text{ги}}, t_{\text{ликвид}}\right), \quad (14)$$

если неизвестна масса ОБ в оборудовании Q , но известны объем оборудования V_2 , давление в оборудовании P_2 и температура в оборудовании T_2 .

$$t_2^{\text{ж}} = t_2^{\text{и}} = t_2^{\text{г}} = t_2^{\text{е}} = t_2^{\text{отс. выб}} = 0, \quad (15)$$

$$\rho_2^{\text{ги}} = \rho_2 \left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}}, \quad (16)$$

где $\rho_2 = \frac{\mu}{R} \frac{P_2}{T_2}$ — плотность газообразного ОБ в оборудовании.

$$\rho_2^{\text{ж}} = \rho_2^{\text{выб}} = \rho_2^{\text{и}} = \rho_2^{\text{г}} = \rho_2^{\text{е}} = \rho_2^{\text{отс. выб}} = 0. \quad (17)$$

При отсутствии данных о начальных размерах облака рекомендуется для прямоугольного сечения вторичного облака принимать полуширину равной высоте⁴:

$$H_2^{\text{ги}} = B_2^{\text{ги}} = \sqrt{\frac{q_2^{\text{ги}}}{2\rho_2^{\text{ги}} u_{0\text{эфф}2}^{\text{ги}}}}, \quad (18)$$

$$B_2^{\text{ж}} = R_2 = B_2^{\text{и}} = B_2^{\text{е}} = B_2^{\text{отс. выб}} = 0, \quad (19)$$

$$H_2^{\text{ж}} = H_2 = H_2^{\text{и}} = H_2^{\text{е}} = H_2^{\text{отс. выб}} = 0. \quad (20)$$

2.2.3. Для сценария 3 характеристики выброса рассчитываются по следующим формулам:

$$Q_3 = Q_3^{\text{г}} + Q_3^{\text{ж}} + Q_3^{\text{и}} + Q^{\text{г}}, \quad (21)$$

$$Q^{\text{г}} = \alpha \frac{\mu}{R} \frac{V_3 P_3}{T_3}, \quad (22)$$

где α — объемная доля оборудования, заполненная газовой фазой (формула (22) применяется, если заранее неизвестна величина $Q^{\text{г}}$).

$$Q_3^{\text{г}} = Q^{\text{ж}} \left(1 - \exp\left(-\frac{C_p (T_3 - T_{\text{кип}} + |T_3 - T_{\text{кип}}|)}{2\Delta H_{\text{кип}}}\right)\right), \quad (23)$$

$$Q_3^{\text{ж}} = \min\{Q_3^{\text{г}}, Q^{\text{ж}} - Q_3^{\text{г}}\}, \quad (24)$$

$$Q_3^{\text{и}} = \min\left\{\frac{T_{\text{п}} - T_{\text{кип}} + |T_{\text{п}} - T_{\text{кип}}|}{\Delta H_{\text{кип}}} \sqrt{\frac{\lambda_{\text{п}} c_{\text{п}} \rho_{\text{п}}}{\pi}} \frac{F_{\text{конт}}^2}{F} \sqrt{t_{\text{кип}}}, Q^{\text{ж}} - Q_3^{\text{г}} - Q_3^{\text{ж}}\right\}, \quad (25)$$

где F — площадь поверхности пролива, принимается равной площади обвалования, а при отсутствии обвалования или незначительной массе выброса определяется по формуле

⁴ В формуле (18), а также далее в формулах (27), (29), (38), (46), (50), (53), ... используется величина $u_{0\text{эфф}}^{\text{г}}$, которая вычисляется согласно формулам (93), (110).

$$F = \frac{Q^{\text{ж}} - Q_3^{\text{г}} - Q_3^{\text{ж}}}{0,05\rho_{\text{ж}}}; \quad (26)$$

$F_{\text{конт}}$ — площадь контакта с твердой поверхностью, эта площадь включает как боковую поверхность обвалования, так и подстилающую поверхность; при проливе на неограниченную поверхность $F_{\text{конт}} = F$;

$T_{\text{п}}, \lambda_{\text{п}}, c_{\text{п}}, \rho_{\text{п}}$ — соответственно температура, теплопроводность, теплоемкость и плотность подстилающей поверхности;

$t_{\text{кип}}$ — время, в течение которого ОБ поступает в первичное облако из-за интенсивного кипения жидкого ОБ за счет подвода тепла от подстилающей поверхности;

$$\sqrt{t_{\text{кип}}} = \min \left\{ \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{кип}} + |T_{\text{п}} - T_{\text{кип}}|}{2\Delta H_{\text{кип}}} \sqrt{\frac{\lambda_{\text{п}} c_{\text{п}} \rho_{\text{п}}}{\pi}} \times \right. \\ \left. \times \frac{1}{\sqrt{\mu} 10^{-6} (5,83 + 4,1u_{0\text{эфф3}}^{\text{и}}) p_{\text{н}}} \frac{F_{\text{конт}}}{F}, \sqrt{\frac{2\sqrt{F}}{u_{0\text{эфф3}}^{\text{и}}}} \right\}, \quad (27)$$

$p_{\text{н}}$ — давление насыщенного пара;

$$p_{\text{н}} = 760 \exp \left(\Delta H_{\text{кип}} \mu \left(\frac{1}{T_{\text{кип}}} - \frac{1}{T_{\text{возд}}} \right) / R \right), \quad (28)$$

$$q_3^{\text{и}} = F \sqrt{\mu} 10^{-6} (5,83 + 4,1u_{0\text{эфф3}}^{\text{и}}) p_{\text{н}}, \quad (29)$$

$$q_3^{\text{ж}} = q_3^{\text{г}} = q_3^{\text{ги}} = q_3^{\text{е}} = q_3^{\text{отс. выб}} = 0, \quad (30)$$

$$t_3^{\text{и}} = (Q - Q_3) / q_3^{\text{и}}, \quad (31)$$

$$t_3^{\text{ж}} = t_3^{\text{г}} = t_3^{\text{ги}} = t_3^{\text{е}} = t_3^{\text{отс. выб}} = 0, \quad (32)$$

$$\rho_3^{\text{выб}} = \begin{cases} \rho_{\text{кип}} \frac{Q_3}{Q_3^{\text{г}} + Q_3^{\text{и}} + Q^{\text{г}}}, & T_3 > T_{\text{кип}} \text{ или } T_{\text{п}} > T_{\text{кип}}, \\ \frac{\mu}{R} \frac{P_3}{T_3} \left(\frac{P_0}{P_3} \right)^{\frac{1}{\gamma}} & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (33)$$

$$\rho_3^{\text{и}} = \rho_{\text{кип}} = \rho(T_{\text{кип}}, P_0) = \frac{\mu}{R} \frac{P_0}{T_{\text{кип}}}, \quad (34)$$

$$\rho_3^{\text{ж}} = \rho_3^{\text{г}} = \rho_3^{\text{е}} = \rho_3^{\text{ги}} = \rho_3^{\text{отс. выб}} = 0, \quad (35)$$

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

$$R_3 = H_3 = \sqrt[3]{\frac{Q_3}{\pi \rho_3^{\text{выб}}}}, \quad (36)$$

$$B_3^{\text{и}} = 0,5\sqrt{F}, \quad (37)$$

$$H_3^{\text{и}} = q_3^{\text{и}} / (2u_{0\text{эфф3}}^{\text{и}} B_3^{\text{и}} \rho_3^{\text{и}}), \quad (38)$$

$$B_3^{\text{ж}} = B_3^{\text{отс. выб}} = B_3^{\text{г}} = B_3^{\text{ги}} = B_3^{\text{е}} = 0, \quad (39)$$

$$H_3^{\text{ж}} = H_3^{\text{отс. выб}} = H_3^{\text{г}} = H_3^{\text{ги}} = H_3^{\text{е}} = 0, \quad (40)$$

2.2.4. Для сценария 4 характеристики выброса рассчитываются по следующим формулам.

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

$$q_{\text{выб}} = 0,6S \operatorname{sign}(Q_H^*) \sqrt{2Hg\rho_{\text{ж}}^2 + 2\rho_{\text{ж}}(P_4 - p_{\text{н}}(T_4)) + \frac{1}{K} \frac{\Delta H_{\text{кип}}^2 \rho^2(T_4, p_{\text{н}}(T_4))}{C_p T_{\text{кип}}}}, \quad (41)$$

где $p_{\text{н}}(T_4) = P_0 \exp\left(\Delta H_{\text{кип}} \mu \left(\frac{1}{T_{\text{кип}}} - \frac{1}{T_4}\right) / R\right)$ — давление насыщенных паров ОВ при температуре T_4 ;

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

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

$$K = \begin{cases} \frac{\Delta H_{\text{кип}}^2 \rho^2(T_4, p_{\text{н}}(T_4))}{2\rho_{\text{ж}}(p_{\text{н}}(T_4) - P_0) C_p T_{\text{кип}}} + \frac{L}{30D_{\text{тр}}}, & 0 \leq L \leq 30D_{\text{тр}} \\ 1,18, & 30D_{\text{тр}} < L \leq 50D_{\text{тр}} \\ 1,33, & 50D_{\text{тр}} < L \leq 100D_{\text{тр}} \\ 1,54, & 100D_{\text{тр}} < L \leq 200D_{\text{тр}} \\ 1,82, & 200D_{\text{тр}} < L \leq 400D_{\text{тр}} \\ 2,1, & 400D_{\text{тр}} < L. \end{cases} \quad (42)$$

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

В остальных случаях расход определяется по формуле

$$q_{\text{выб}} = \operatorname{sign}(Q_H^*) 0,6S\rho_{\text{ж}} \sqrt{2Hg + 2 \frac{P_4 - P_0}{\rho_{\text{ж}}}}. \quad (43)$$

В случае если истечение происходит через трубопровод и количество ОВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет более 20 % общего количества выброса, то необходимо рассмотреть стадию истечения из аварийного участка трубопровода после отсечения аварийного участка. Скорость выброса на этой стадии будет составлять

$$q_{\text{выб}}^{\text{отс}} = \begin{cases} 0,6S\rho_{\text{ж}} \operatorname{sign}(Q_{H^{\text{отс. тр}}}^*) \sqrt{2H_{\text{тр}}^{\text{отс}} g}, & T_4 < T_{\text{кип}}, \\ 0,6S\rho_{\text{ж}} \operatorname{sign}(Q_{H^{\text{отс. тр}}}^*) \sqrt{2H_{\text{тр}}^{\text{отс}} g + 2 \frac{p_{\text{н}}(T_4) - P_0}{\rho_{\text{ж}}}}, & T_4 \geq T_{\text{кип}}, \end{cases} \quad (44)$$

где $p_{\text{н}}(T_4)$ — давление насыщенных паров при температуре T_4 .

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

$$Q_4 = \min \left\{ Q_H^* + Q_{H^{\text{тр}}}^*, (q_4' + q_4'')t' + (q_{4^{\text{отс}}}^* + q_{4^{\text{отс}}}^{\text{отс}})t'_{\text{отс}} + \right. \\ \left. + \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{кип}} + |T_{\text{п}} - T_{\text{кип}}|}{\Delta H_{\text{кип}}} \sqrt{\frac{\lambda_{\text{п}} c_{\text{п}} \rho_{\text{п}}}{\pi}} \frac{F_{\text{конт}}^2}{F'} \sqrt{t_{\text{кип}}} \right\}, \quad (45)$$

$$\sqrt{t_{\text{кип}}} = \min \left\{ \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{кип}} + |T_{\text{п}} - T_{\text{кип}}|}{2\Delta H_{\text{кип}}} \sqrt{\frac{\lambda_{\text{п}} c_{\text{п}} \rho_{\text{п}}}{\pi}} \times \right. \\ \left. \times \frac{1}{\sqrt{\mu} \cdot 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}4}^0) p_{\text{н}}}, \sqrt{\frac{2\sqrt{F'}}{u_{0\text{эфф}4}^0}} \right\}, \quad (46)$$

где F' — площадь поверхности пролива, принимается равной площади обвалования, а при отсутствии обвалования или незначительной массе выброса определяется по формуле

$$F' = \frac{(q_{\text{выб}} - q'_4 - q''_4) \min \left\{ t', \frac{Q_H^{\text{ж}} + Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}} \right\} +}{0,05\rho_{\text{ж}}} \\ + \frac{(q_{\text{выб}}^{\text{отс}} - q'_{4\text{отс}} - q''_{4\text{отс}}) \min \left\{ t'_{\text{отс}}, \frac{Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}^{\text{отс}}} \right\}}{0,05\rho_{\text{ж}}}, \quad (47)$$

$$t' = \min \{ t_{\text{кип}}, t_{\text{отс}}, t_{\text{ликвид}}, t'_{\text{исп}} \}, \quad (48)$$

$$t'_{\text{отс}} = \min \{ t_{\text{кип}} - t', t_{\text{ликвид}} - t', t'_{\text{исп}} - t', t''_{\text{исп}} - t' \}, \quad (49)$$

$F_{\text{конт}}$ — площадь контакта с твердой поверхностью, эта площадь включает как боковую поверхность обвалования, так и подстилающую поверхность; при проливе на неограниченную поверхность $F_{\text{конт}} = F'$;

$$t'_{\text{исп}} = \frac{(q_{\text{выб}} - q'_4 - q''_4) \frac{Q_H^{\text{ж}} + Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}}}{F \sqrt{\mu} 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}4}^0) p_{\text{н}}} \text{ при проливе в обвалование}$$

и

$$t'_{\text{исп}} = \frac{0,05\rho_{\text{ж}}}{\sqrt{\mu} 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}4}^0) p_{\text{н}}} \text{ при проливе на неограниченную поверхность;}$$

$$t''_{\text{исп}} = \frac{(q_{\text{выб}} - q'_4 - q''_4) t_{\text{отс}} + (q_{\text{выб}}^{\text{отс}} - q'_{4\text{отс}} - q''_{4\text{отс}}) \frac{Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}^{\text{отс}}}}{F \sqrt{\mu} 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}4}^0) p_{\text{н}}} \text{ при проливе в обвалование}$$

и

$$t''_{\text{исп}} = \frac{0,05\rho_{\text{ж}}}{\sqrt{\mu} 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}4}^0) p_{\text{н}}} \text{ при проливе на неограниченную поверхность;}$$

$$q_4^{\text{ж}} = \min \left\{ q_{\text{выб}}, q'_4 + q''_4 + F \sqrt{\mu} 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}4}^{\text{ж}}) p_{\text{н}} \right\}, \quad (50)$$

$$q'_4 = q_{\text{выб}} \left(1 - \exp \left(- \frac{C_p (T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|)}{2\Delta H_{\text{кип}}} \right) \right), \quad (51)$$

$$q''_4 = \min \{ q'_4, q_{\text{выб}} - q'_4 \}, \quad (52)$$

$$q_4^{\text{отс. выб}} = \min \left\{ q_{\text{выб}}^{\text{отс}}, q'_{4\text{отс}} + q''_{4\text{отс}} + F \sqrt{\mu} 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}4}^{\text{отс. выб}}) p_{\text{н}} \right\}, \quad (53)$$

$$q'_{4\text{отс}} = q_{\text{выб}}^{\text{отс}} \left(1 - \exp \left(- \frac{C_p (T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|)}{2\Delta H_{\text{кип}}} \right) \right), \quad (54)$$

$$q''_{4\text{отс}} = \min \{ q'_{4\text{отс}}, q_{\text{выб}}^{\text{отс}} - q'_{4\text{отс}} \}, \quad (55)$$

$$q_4^{\Gamma} = \begin{cases} F\sqrt{\mu}10^{-6} \left(5,83 + 4,1u_{0\text{эфф}4}^{\Gamma} \right) p_{\text{н}} + 0,8S \times \\ \times \min \left\{ \sqrt{2\frac{\gamma}{\gamma-1} P_4 \rho_4 \left(\left(\frac{P_0}{P_4} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P_0}{P_4} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right)}, \sqrt{P_4 \rho_4 \gamma \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \right\}, \\ \text{либо } t' + t'_{\alpha\text{с}} + t_4^{\text{ж}} + t_4^{\alpha\text{с. выб}} < t_{\alpha\text{с}}, \text{ либо } t' + t'_{\alpha\text{с}} + t_4^{\text{ж}} + t_4^{\alpha\text{с. выб}} > t_{\alpha\text{с}} \\ \text{и } Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}} > Q_{H^{\alpha\text{с. тр}}}^{\text{ж}} \\ F\sqrt{\mu}10^{-6} \left(5,83 + 4,1u_{0\text{эфф}4}^{\Gamma} \right) p_{\text{н}} + 0,8S \times \\ \times \min \left\{ \sqrt{2\frac{\gamma}{\gamma-1} p_{\text{н}}(T_4) \rho_{\text{н}}(p_{\text{н}}(T_4), T_{\text{кип}}) \left(\left(\frac{P_0}{p_{\text{н}}(T_4)} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P_0}{p_{\text{н}}(T_4)} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right)}, \right. \\ \left. \sqrt{p_{\text{н}}(T_4) \rho_{\text{н}}(p_{\text{н}}(T_4), T_{\text{кип}}) \gamma \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \right\}, \\ t' + t'_{\alpha\text{с}} + t_4^{\text{ж}} + t_4^{\alpha\text{с. выб}} > t_{\alpha\text{с}}, Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}} = Q_{H^{\alpha\text{с. тр}}}^{\text{ж}}, T_4 > T_{\text{кип}} \\ 0, t' + t'_{\alpha\text{с}} + t_4^{\text{ж}} + t_4^{\alpha\text{с. выб}} > t_{\alpha\text{с}}, Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}} = Q_{H^{\alpha\text{с. тр}}}^{\text{ж}}, T_4 \leq T_{\text{кип}} \end{cases} \quad (56)$$

$$\begin{aligned}
q_4^{\text{ги}} = & \left\{ \begin{aligned}
& S_{\max} \sqrt{\mu} 10^{-6} \cdot 5,83 p_{\text{н}} + 0,8 S \times \\
& \times \min \left\{ \sqrt{2 \frac{\gamma}{\gamma-1} P_4 \rho_4 \left(\left(\frac{P_0}{P_4} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P_0}{P_4} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right)}, \sqrt{P_4 \rho_4 \gamma \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \right\}, \\
& \text{либо } t' + t'_{\text{отс}} + t_4^{\text{ж}} + t_4^{\text{отс. выб}} < t_{\text{отс}}, \text{ либо } t' + t'_{\text{отс}} + t_4^{\text{ж}} + t_4^{\text{отс. выб}} > t_{\text{отс}} \\
& \text{и } Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}} > Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}} \\
& S_{\max} \sqrt{\mu} 10^{-6} \cdot 5,83 p_{\text{н}} + 0,8 S \times \\
& \times \min \left\{ \sqrt{2 \frac{\gamma}{\gamma-1} p_{\text{н}}(T_4) \rho_{\text{н}}(p_{\text{н}}(T_4), T_{\text{кип}}) \left(\left(\frac{P_0}{p_{\text{н}}(T_4)} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P_0}{p_{\text{н}}(T_4)} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right)}, \right. \\
& \left. \sqrt{p_{\text{н}}(T_4) \rho_{\text{н}}(p_{\text{н}}(T_4), T_{\text{кип}}) \gamma \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \right\}, \\
& t' + t'_{\text{отс}} + t_4^{\text{ж}} + t_4^{\text{отс. выб}} > t_{\text{отс}}, \text{ и } Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}} = Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}}, \text{ и } T_4 \geq T_{\text{кип}} \\
& 0, t' + t'_{\text{отс}} + t_4^{\text{ж}} + t_4^{\text{отс. выб}} > t_{\text{отс}}, \text{ и } Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}} = Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}}, \text{ и } T_4 = T_{\text{кип}},
\end{aligned} \right. \quad (57)
\end{aligned}$$

$$q_4^{\text{и}} = F \sqrt{\mu} 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}}^{\text{и}}) p_{\text{н}} + 5,83 S_{\max} \sqrt{\mu} 10^{-6} p_{\text{н}}, \quad (58)$$

$$q_4^{\text{е}} = 5,83 S_{\max} \sqrt{\mu} 10^{-6} p_{\text{н}}, \quad (59)$$

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

$$S_{\max} = \min \left\{ S_{\text{обор}}, \rho_4^{\text{е}} u_{0\text{эфф}}^{\text{е}} S / (\sqrt{\mu} \cdot 5,83 \cdot 10^{-6} p_{\text{н}}) \right\}, \quad (60)$$

$$t_4^{\text{ж}} = \min \left\{ \frac{Q_H^{\text{ж}} + Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}} - t', t_{\text{отс}} - t' \right\}, \quad (61)$$

$$t_4^{\text{отс. выб}} = \min \left\{ t_{\text{ликвид}} - t'_{\text{отс}} - t_4^{\text{ж}} - t', \frac{Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}} - t'_{\text{отс}} \right\}, \quad (62)$$

$$t_{\text{исп}} = \frac{q_{\text{выб}} \left(t_4^{\text{ж}} + \min \left\{ t', \frac{Q_H^{\text{ж}} + Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}} \right\} \right)}{F \sqrt{\mu} 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}4}^{\text{г}}) p_{\text{н}}} +$$

$$+ \frac{q_{\text{выб}}^{\text{отс}} \left(t_4^{\text{отс. выб}} + \min \left\{ t'_{\text{отс}}, \frac{Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}^{\text{отс}}} \right\} \right) - Q_4 - q_4^{\text{ж}} t_4^{\text{ж}} - q_4^{\text{отс. выб}} t_4^{\text{отс. выб}}}{F \sqrt{\mu} 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}4}^{\text{г}}) p_{\text{н}}}, \quad (63)$$

$t_{\text{исп}}$ — длительность испарения пролива после окончания истечения жидкого ОВ при условии, что продолжается истечение газовой фазы.

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

$$F = \frac{q_{\text{выб}} \left(t_4^{\text{ж}} + \min \left\{ t', \frac{Q_H^{\text{ж}} + Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}} \right\} \right)}{0,05 \rho_{\text{ж}}} +$$

$$+ \frac{q_{\text{выб}}^{\text{отс}} \left(t_4^{\text{отс. выб}} + \min \left\{ t'_{\text{отс}}, \frac{Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}^{\text{отс}}} \right\} \right) - Q_4 - q_4^{\text{ж}} t_4^{\text{ж}} - q_4^{\text{отс. выб}} t_4^{\text{отс. выб}}}{0,05 \rho_{\text{ж}}}, \quad (64)$$

$$t_4^{\text{г}} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(t_{\text{макс}}^{\text{г}} \text{ при } t_{\text{отс}} - t_4^{\text{ж}} - t_4^{\text{отс. выб}} - t'_{\text{отс}} - t' > t_{\text{макс}}^{\text{г}} \right. \\ \left. \left(\frac{Q_{\text{отс}}^{\text{г}} + \min \left\{ Q_{\text{тр}^{\text{отс}}}^{\text{ж}}, (Q_{\text{тр}}^{\text{ж}} - Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}) \right\} \left(1 - \exp \left(- \frac{C_p (T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|) \right)}{2 \Delta H_{\text{кип}}} \right) \right)}{q_4^{\text{г}} - F \sqrt{\mu} \cdot 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}4}^{\text{г}}) p_{\text{н}}} + \right. \\ \left. + t_{\text{отс}} - t_4^{\text{ж}} - t_4^{\text{отс. выб}} - t'_{\text{отс}} - t', \right. \\ \left. \text{при } t_{\text{отс}} - t_4^{\text{ж}} - t_4^{\text{отс. выб}} - t'_{\text{отс}} - t' \leq t_{\text{макс}}^{\text{г}} \right. \\ \left. \left(\frac{Q_{\text{отс}}^{\text{г}} + (Q_{\text{тр}}^{\text{ж}} - Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}) \left(1 - \exp \left(- \frac{C_p (T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|) \right)}{2 \Delta H_{\text{кип}}} \right) \right)}{q_4^{\text{г}} - F \sqrt{\mu} \cdot 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}4}^{\text{г}}) p_{\text{н}}} + \right. \\ \left. t_{\text{отс}} > t_4^{\text{ж}} + t_4^{\text{отс. выб}} + t'_{\text{отс}} + t' \right. \\ \left. \left(\frac{Q_{\text{отс}}^{\text{г}} + (Q_{\text{тр}}^{\text{ж}} - Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}) \left(1 - \exp \left(- \frac{C_p (T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|) \right)}{2 \Delta H_{\text{кип}}} \right) \right)}{q_4^{\text{г}} - F \sqrt{\mu} \cdot 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}4}^{\text{г}}) p_{\text{н}}} + \right. \\ \left. t_{\text{отс}} \leq t_4^{\text{ж}} + t_4^{\text{отс. выб}} + t'_{\text{отс}} + t' \right. \\ \left. \min \text{sum} (t_{\text{ликвид}}, t', t'_{\text{отс}}, t_4^{\text{отс. выб}}, t_4^{\text{ж}}), \right. \\ \left. t_{\text{исп}} \right\}, \quad (65)$$

$$t_{\max}^{\Gamma} = \frac{\left(Q^{\Gamma} + (Q^{\text{ж}} + Q_{\text{тр}}^{\text{ж}} - Q_H^{\text{ж}} - Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}) \left(1 - \exp \left(-\frac{C_p (T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|) \right) \right) \right)}{q_4^{\Gamma} - F \sqrt{\mu} \cdot 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}4}^{\Gamma}) p_{\text{н}}}, \quad (66)$$

$$t_4^{\text{ги}} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} t_{\max}^{\text{ги}} \text{ при } t_{\text{отс}} - t_4^{\text{ж}} - t_4^{\text{отс. выб}} - t'_{\text{отс}} - t' - t_4^{\Gamma} > t_{\max}^{\text{ги}} \\ \left(Q_{\text{отс}}^{\Gamma} + \min \left\{ Q_{\text{тр}}^{\text{ж}}, (Q_{\text{тр}}^{\text{ж}} - Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}) \right\} \left(1 - \exp \left(-\frac{C_p (T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|) \right) \right) \right) \right) \end{array} \right\} + \\ \frac{q_4^{\Gamma} - F \sqrt{\mu} \cdot 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}4}^{\Gamma}) p_{\text{н}}}{+ t_4^{\text{ж}} - t_4^{\text{отс. выб}} - t'_{\text{отс}} - t' - t_4^{\Gamma},} \\ \left\{ \begin{array}{l} \text{при } t_{\text{отс}} - t_4^{\text{ж}} - t_4^{\text{отс. выб}} - t'_{\text{отс}} - t' - t_4^{\Gamma} \leq t_{\max}^{\text{ги}} \\ t_{\text{отс}} > t_4^{\text{ж}} + t_4^{\text{отс. выб}} + t'_{\text{отс}} + t' + t_4^{\Gamma} \end{array} \right\} \\ \frac{\left(Q_{\text{отс}}^{\Gamma} + (Q_{\text{тр}}^{\text{ж}} - Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}) \left(1 - \exp \left(-\frac{C_p (T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|) \right) \right) \right)}{q_4^{\Gamma} - F \sqrt{\mu} \cdot 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}4}^{\Gamma} U) p_{\text{н}}} - t_4^{\Gamma}, \\ \left\{ \begin{array}{l} t_{\text{отс}} \leq t_4^{\text{ж}} + t_4^{\text{отс. выб}} + t'_{\text{отс}} + t' + t_4^{\Gamma} \\ \min \text{sum} (t_{\text{ликвид}}, t', t'_{\text{отс}}, t_4^{\text{отс. выб}}, t_4^{\text{ж}}, t_4^{\Gamma}) \end{array} \right\} \end{array} \right\} \quad (67)$$

$$t_{\max}^{\text{ги}} = t_{\max}^{\Gamma} - t_4^{\Gamma}, \quad (68)$$

$$t_4^{\text{и}} = \frac{q_{\text{выб}} \left(t_4^{\text{ж}} + \min \left\{ t', \frac{Q_H^{\text{ж}} + Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}} \right\} \right)}{F \sqrt{\mu} 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}4}^{\text{и}}) p_{\text{н}}} + \\ + \frac{q_{\text{выб}}^{\text{отс}} \left(t_4^{\text{отс. выб}} + \min \left\{ t'_{\text{отс}}, \frac{Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}^{\text{отс}}} \right\} \right) - Q_4 - q_4^{\text{ж}} t_4^{\text{ж}} - q_4^{\text{отс. выб}} t_4^{\text{отс. выб}} - q_4^{\Gamma} t_4^{\Gamma}}{F \sqrt{\mu} 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}4}^{\text{и}}) p_{\text{н}}}, \quad (69)$$

$$t_4^{\text{е}} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{(Q_{\text{тр}}^{\text{ж}} - Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}} + Q^{\text{ж}} - Q_H^{\text{ж}})}{q_4^{\text{е}}} \times \\ \times \left(1 - \exp \left(-\frac{C_p (T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|) \right) \right) - t_4^{\Gamma} - t_4^{\text{ги}} - t_4^{\text{и}}, \\ \min \text{sum} (t_{\text{ликвид}}, t', t'_{\text{отс}}, t_4^{\text{отс. выб}}, t_4^{\text{ж}}, t_4^{\Gamma}, t_4^{\text{и}}, t_4^{\text{е}}) \end{array} \right\}, \quad (70)$$

$$\rho_4^{\text{выб}} = \begin{cases} \rho_{\text{кип}} \frac{Q_4}{Q_4 - q_4'' t'}, & T_4 > T_{\text{кип}} \text{ или } T_{\text{п}} > T_{\text{кип}} \\ 0 & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (71)$$

$$\rho_4^{\text{ж}} = \rho_{\text{кип}} \frac{q_4^{\text{ж}}}{q_4' + F \sqrt{\mu} 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}4}^{\text{ж}}) p_{\text{н}}}, \quad (72)$$

$$\rho_4^{\text{отс. выб}} = \rho_{\text{кип}} \frac{q_4^{\text{отс. выб}}}{q_{4\text{отс}}' + F \sqrt{\mu} 10^{-6} (5,83 + 4,1 u_{0\text{эфф}4}^{\text{отс. выб}}) p_{\text{н}}}, \quad (73)$$

$$\rho_4^{\text{г}} = \rho_4^{\text{ги}} = \rho_4 \left(\frac{P_0}{P_4} \right)^{\frac{1}{\gamma}}, \quad (74)$$

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

$$\rho_4^{\text{и}} = \rho_4^{\text{е}} = \rho_{\text{кип}}, \quad (75)$$

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

$$R_4 = H_4 = \sqrt[3]{\frac{Q_4}{2\pi\rho_4^{\text{выб}}}}, \quad (76)$$

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

$$B_4^{\text{ж}} = B_4^{\text{отс. выб}} = B_4^{\text{г}} = B_4^{\text{и}} = 0,5\sqrt{F}, \quad (77)$$

$$H_4^{\text{ж}} = q_4^{\text{ж}} / (2u_{0\text{эфф}4}^{\text{ж}} B_4^{\text{ж}} \rho_4^{\text{ж}}), \quad (78)$$

$$H_4^{\text{отс. выб}} = q_4^{\text{отс. выб}} / (2u_{0\text{эфф}4}^{\text{отс. выб}} B_4^{\text{отс. выб}} \rho_4^{\text{отс. выб}}), \quad (79)$$

$$H_4^{\text{г}} = q_4^{\text{г}} / (2u_{0\text{эфф}4}^{\text{г}} B_4^{\text{г}} \rho_4^{\text{г}}), \quad (80)$$

$$H_4^{\text{и}} = q_4^{\text{и}} / (2u_{0\text{эфф}4}^{\text{и}} B_4^{\text{и}} \rho_4^{\text{и}}), \quad (81)$$

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

$$H_4^{\text{ги}} = B_4^{\text{ги}} = \sqrt{\frac{q_4^{\text{ги}}}{2\rho_4^{\text{ги}} u_{0\text{эфф}4}^{\text{ги}}}}, \quad (82)$$

$$H_4^{\text{е}} = B_4^{\text{е}} = \sqrt{\frac{q_4^{\text{е}}}{2\rho_4^{\text{е}} u_{0\text{эфф}4}^{\text{е}}}}. \quad (83)$$

3. РАСЧЕТ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ И ТОКСОДОЗЫ

3.1. Для условий, в которых происходит выброс, определяются характерный размер шероховатости поверхности $z_{нов}$, класс устойчивости атмосферы, характеристика профиля ветра α_v , масштаб Монина-Обухова L_{MO} , скорость поверхностного трения u_* , скорость подмешивания воздуха $u_{подм}^{верх}$ и коэффициент дисперсии в поперечном направлении σ_y .

3.1.1. Для условий, в которых происходит выброс, определяется характерный размер шероховатости $z_{нов}$. Если характерный размер шероховатости не может быть задан исходя из реальных метеорологических условий с приведением соответствующих обоснований, то он задается согласно приложения 8 (Таблица 1).

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

3.1.2. Для условий, в которых происходит выброс, определяется класс устойчивости атмосферы. Если класс устойчивости не может быть задан исходя из реальных метеорологических условий с приведением соответствующих обоснований, то класс устойчивости задается с использованием приложения 8 (Таблица 2) 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.

3.1.3. Для характерного размера шероховатости $z_{нов}$, класса устойчивости и скорости ветра u_{10} на высоте z_{10} определяется коэффициент α_v согласно Приложения 8 (Таблица 3).

ВНИМАНИЕ. При проведении расчетов первоначально следует выбирать α для высоты до 20 м (первое из значений в таблице 3 Приложения 8). Если в результате расчета окажется, что вертикальный размер облака с требуемыми характеристиками больше 20 м, то следует провести новый расчет с измененным α_v : если выброс до 50 м или выше 50 м.

3.1.4. Для характерного размера шероховатости $z_{нов}$ и класса устойчивости определяется масштаб Монина-Обухова L_{MO} . $L_{MO} = \infty$ для нейтральной устойчивости атмосферы (класс D). Для остальных условий устойчивости атмосферы масштаб Монина-Обухова определяется по формуле (84) с использованием Приложения 8 (Таблица 4).

$$L_{MO} = k_L \cdot z_{нов}^p \quad (84)$$

3.1.5. Определяется характерная скорость трения:

$$u_* = \frac{k \cdot u_{10}}{\left(\ln \left((z_{10} + z_{нов}) / z_{нов} \right) - \varphi \right)}, \quad (85)$$

где φ - задается, исходя из класса устойчивости атмосферы, согласно (86).

$$\varphi = \begin{cases} 2 \cdot \ln((1+a)/2) + \ln((1+a^2)/2) - 2 \cdot \arctg(a) + \frac{\pi}{2}; & \text{для классов устойчивости A, B, C} \\ 0; & \text{для класса устойчивости D} \\ -6,9 \cdot z / L_{MO}; & \text{для классов устойчивости E, F,} \end{cases} \quad (86)$$

где $a = (1 - 22 \cdot z_0 / L_{MO})^{1/4}$.

3.1.6 Скорость подмешивания воздуха в облако через верхнюю границу определяется в зависимости от характеристик облака (эффективной плотности $\rho_{эфф}$, эффективной высоты $H_{эфф}$, эффективной температуры $T_{эфф}$ и эффективной теплоемкости облака C_p) по следующей формуле (87):

$$u_{\text{подм}}^{\text{верх}} = \frac{k \cdot u_t}{\Phi(Ri_*)}, \quad (87)$$

$$\Phi(Ri_*) = \begin{cases} \frac{(1 + 0,8 \cdot Ri_*)^{1/2}}{(1 + \alpha_B)}, & Ri_* > 0 \\ \frac{(1 - 0,6 \cdot Ri_*)^{-1/2}}{(1 + \alpha_B)}, & Ri_* \leq 0 \end{cases}, \quad (88)$$

$$Ri_* = g \cdot \frac{(\rho_{эфф} - \rho_{возд})}{\rho_{возд}} \cdot \frac{H_{эфф}}{u_t^2}, \quad (89)$$

здесь, $u_t = \sqrt{u_*^2 + (b \cdot w_*)^2}$, $b=0,2$, $w_* = \left[\frac{g \cdot E_{\text{пов}} \cdot H_{эфф}}{\rho_{эфф} \cdot T_{эфф} \cdot C_p} \right]^{1/3}$, $E_{\text{пов}}$ - тепловой поток в облако, описываемый ниже (104).

3.1.7 Коэффициент дисперсии в поперечном направлении σ_y определяется по следующей формуле (90) с помощью Приложения 8 (Таблица 5):

$$\sigma_y(x) = \delta \cdot x \cdot (1 + \gamma \cdot x)^{-1/2} \quad (90)$$

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

3.2. Для каждого из этапов выброса по сценарию i -му определяются поля концентрации и максимальная концентрация на оси x .

Для первичного облака концентрация и размеры облаков при их прохождении вычисляется по формулам (91) - (107).

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

$c_{\text{ци}}$, S_{zi} , S_{yi} , r_i , $E_{эффi}$, $x_{\text{ци}}$, $Q_{\text{жи}}$.

Кроме того, облако характеризуется такими параметрами, как $\rho_{эффi}$ (или $V_{эффi}$) и $T_{эффi}$.

Перечисленные выше параметры дополняются еще четырьмя параметрами, которые рассчитываются на основе введенных выше переменных:

$R_{эффi}$, $H_{эффi}$, $u_{эффi}$, $Q_{\text{сумми}}$.

$$R_{эффi} = r_i + 0,5 \cdot \sqrt{\pi} \cdot S_{yi} \quad (91)$$

$$H_{эффi} = \frac{1}{\beta} \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\beta}\right) \cdot S_{zi} \quad (92)$$

$$u_{\text{эфф}i} = \frac{\Gamma[(1+\alpha_6)/\beta]}{\Gamma[1/\beta]} \cdot u_{10} \cdot \left(\frac{S_{zi}}{z_{10}}\right)^{\alpha_6} \quad (93)$$

$$Q_{\text{сумм}i} = \pi \cdot R_{\text{эфф}i}^2 \cdot H_{\text{эфф}i} / V_{\text{эфф}i} \quad (94)$$

Схема первичного облака и основные геометрические параметры изображены на рис. 10 Приложения 2.

3.2.2. Распределение концентрации в облаке описывается зависимостью:

$$c_i^0(x, y, z, t) = c_{\text{ц}i} \cdot \exp\left[-\left[\frac{z}{S_{zi}}\right]^\beta\right], \quad \text{при } (x - x_{\text{ц}i})^2 + y^2 < r_i^2 \quad (95)$$

$$c_i^0(x, y, z, t) = c_{\text{ц}i} \cdot \exp\left[-\left[\frac{z}{S_{zi}}\right]^\beta\right] \cdot \exp\left[-\frac{(x - x_{\text{ц}i})^2 + y^2 - r_i^2}{[S_{yi}^2]}\right], \quad \text{при } (x - x_{\text{ц}i})^2 + y^2 \geq r_i^2 \quad (96)$$

3.2.3 Для определения пространственного распределения концентрации, описываемой в п. 3.2.2. с помощью параметров (п. 3.2.1) используются следующие уравнения.

Сохранение массы выброшенного вещества Q_i

$$Q_i = c_{\text{ц}i} \cdot \pi \cdot R_{\text{эфф}i}^2 \cdot H_{\text{эфф}i} \quad (97)$$

Изменение массы облака $Q_{\text{сум}i}$

$$\frac{d}{dt}[Q_{\text{сум}i}] = \pi \cdot R_{\text{эфф}i}^2 \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot u_{\text{подм}}^{\text{верх}} + 2 \cdot \pi \cdot R_{\text{эфф}i} \cdot H_{\text{эфф}i} \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot \gamma_{\text{подм}} \cdot \frac{d}{dt}[R_{\text{эфф}i}] \quad (98)$$

Гравитационное растекание облака

$$\frac{d}{dt}[R_{\text{эфф}i}] = u_{\text{эфф}i} \frac{d}{dx}[R_{\text{эфф}i}] = C_E \sqrt{g \cdot H_{\text{эфф}i} \cdot \left[1 - \frac{\rho_{\text{возд}}}{\rho_{\text{эфф}i}}\right]} \quad (99)$$

Боковое рассеяние выброса за счет атмосферной диффузии

$$\frac{d}{dt}[S_{yi}] = \frac{u_{\text{эфф}i}}{S_{yi}} \cdot 2 \cdot (2/\pi)^{1/2} \cdot (r_i + 1/2 \cdot \pi^{1/2} \cdot S_{yi}) \cdot \frac{d}{dx}[\sigma_y], \quad \text{при } r_i > 0 \quad (100)$$

или

$$S_{yi}(x) = 2^{1/2} \cdot \sigma_y(x + x_t), \quad \text{при } r_i = 0 \quad (101)$$

Сохранение энергии в облаке $E_{\text{эфф}i}$

$$\frac{d}{dt}[E_{\text{эфф}i}] = \pi \cdot R_{\text{эфф}i}^2 \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot u_{\text{подм}}^{\text{верх}} \cdot e_{\text{возд}} + 2 \cdot \pi \cdot R_{\text{эфф}i} \cdot H_{\text{эфф}i} \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot \gamma_{\text{подм}} \cdot \frac{d}{dt}[R_{\text{эфф}i}] \cdot e_{\text{возд}} + \pi \cdot R_{\text{эфф}i}^2 \cdot E_{\text{нов}i} \quad (102)$$

Способ расчета удельного теплового потока от подстилающей поверхности в облако $E_{\text{нов}i}$ приведен в разделе 3.2.4 (104).

Положение центра облака $x_{\text{ц}i}$

$$\frac{d}{dt}[x_{\text{ц}i}] = u_{\text{эфф}i} \quad (103)$$

Величины $\rho_{эффи}$ ($V_{эффи}$) $T_{эффи}$, используемые в вышеприведенных формулах, а также величина $Q_{жи}$ вычисляются согласно подходу, изложенному в Приложении 9.

3.2.4 Определение удельного потока энергии в облако от поверхности земли

$$E_{повi} = \begin{cases} \max[E_{пов\text{ ест}i}, E_{пов\text{ вынужд}i}], & T_{пов\text{ рас}c} > T_{эффи} \\ E_{пов\text{ вынужд}i}, & T_{пов\text{ рас}c} \leq T_{эффи} \end{cases} \quad (104)$$

$$E_{пов\text{ вынужд}i} = 1.22 \cdot \left(\frac{u_*^2}{u_{10}} \right)^2 \cdot \rho_{эффи} \cdot C_{pi} \cdot (T_{пов\text{ рас}c} - T_{эффи}) \quad (105)$$

$$C_{pi} = \frac{((Q_i - Q_{жи}) \cdot C_{ргаз} + Q_{жи} \cdot C_p + (Q_{сумми} - Q_{жи}) \cdot C_{рвозд})}{Q_{сумми}} \quad (106)$$

$$E_{пов\text{ ест}i} = 3.5 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{(T_{поврас} - T_{эффи})^2}{0.5 \cdot (T_{пов\text{ рас}} + T_{эффи})} \right)^{2/3} \cdot \frac{P_0}{R} \cdot (g)^{1/3} \quad (107)$$

Для длительных выбросов концентрация и размеры облаков при их прохождении вычисляется по формулам (113) - (125).

3.2.5. Дрейф вторичного облака рассматривается для следующих шести стадий аварии (см. Приложение 3):

- 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 задается свой расход опасного вещества в шлейфе q_i^l :

$q_i^ж, q_i^{отс.\text{выб.}}, q_i^г, q_i^{ги}, q_i^и, q_i^е$,
свой начальный размер облака (полуширина B_i^l и высота H_i^l)

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

Ранее эти величины для разных сценариев были рассчитаны по формулам (3), (7)-(9), (11), (12), (18)-(20), (29)-(30), (36)-(40), (50), (53), (56)-(59).

Состояние вторичного облака в каждом поперечном сечении характеризуется следующими параметрами:

$c_{зи}^l, S_{zi}^l, S_{yi}^l, b_i^l, E_{эффи}^l, x_{ни}^l, x_{зи}^l, q_{жи}^l$.

Кроме того, облако характеризуется такими параметрами, как $\rho_{эффи}^l (V_{эффи}^l) T_{эффи}^l$.

Перечисленные выше параметры дополняются еще четырьмя параметрами $B_{эфф\ i}^l$; $H_{эфф\ i}^l$; $u_{эфф\ i}^l$; $q_{сумм\ i}^l$, которые рассчитываются на основе введенных выше переменных по формулам (108) - (111):

$$B_{эфф\ i}^l = b_i^l + 0,5 \cdot \sqrt{\pi} \cdot S_{yi}^l, \quad (108)$$

$$H_{эфф\ i}^l = \frac{1}{\beta} \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\beta}\right) \cdot S_{zi}^l, \quad (109)$$

$$u_{эфф\ i}^l = \frac{\Gamma[(1+\alpha_s)/\beta]}{\Gamma[1/\beta]} \cdot u_{10} \cdot \left(\frac{S_{zi}^l}{z_{10}}\right)^\alpha, \quad (110)$$

$$q_{сум\ i}^l = 2 \cdot B_{эфф\ i}^l \cdot H_{эфф\ i}^l \cdot u_{эфф\ i}^l / V_{эфф\ i}^l. \quad (111)$$

Схема шлейфа и основные геометрические параметры изображены на рис. 11
Приложения 2

3.2.6. Распределение концентрации в поперечном сечении вторичного облака описывается зависимостью:

$$c_i^l(x, y, z) = c_{ци}^l \cdot \exp\left[-\left[\frac{z}{S_{zi}^l}\right]^\beta\right], \text{ при } |y| < b_i^l \text{ и } x_3 < x < x_n \quad (112)$$

$$c_i^l(x, y, z) = c_{ци}^l \cdot \exp\left[-\left[\frac{z}{S_{zi}^l}\right]^\beta\right] \cdot \exp\left[-\left[\frac{|y| - b_i^l}{S_{yi}^l}\right]^2\right], \text{ при } |y| \geq b_i^l \text{ и } x_3 < x < x_n \quad (113)$$

При $x_n < x$ и $x < x_3$ $c_i^l(x, y, z) = 0$.

3.2.7 Для определения пространственного распределения концентрации, описываемой в п. 3.2.5. с помощью параметров (п. 3.2.6.) используются следующие уравнения:

Сохранение массы выброшенного вещества q_i^l

$$q_i^l = 2 \cdot c_{ци}^l \cdot B_{эфф\ i}^l \cdot H_{эфф\ i}^l \cdot u_{эфф\ i}^l. \quad (114)$$

Изменение расхода в шлейфе $q_{сум\ i}^l$

$$\frac{d}{dx}[q_{сум\ i}^l] = 2 \cdot B_{эфф\ i}^l \cdot \rho_{возд} \cdot u_{подм}^{верх} + 2 \cdot H_{эфф\ i}^l \cdot \rho_{возд} \cdot \gamma_{подм} \cdot \frac{d}{dt}[B_{эфф\ i}^l]. \quad (115)$$

Гравитационное растекание облака

$$\frac{d}{dx}[B_{эфф\ i}^l] = \frac{C_E}{u_{эфф\ i}^l} \sqrt{g \cdot H_{эфф\ i}^l \cdot \left[1 - \frac{\rho_{возд}}{\rho_{эфф\ i}^l}\right]}. \quad (116)$$

Боковое рассеяние выброса за счет атмосферной диффузии

$$\frac{d}{dx}[S_{yi}^l] = \frac{1}{S_{yi}^l} \cdot 2 \cdot (2/\pi)^{1/2} \cdot (b_i^l + 1/2 \cdot \pi^{1/2} \cdot S_{yi}^l) \cdot \frac{d}{dx}[\sigma_y], \text{ при } b_i^l > 0 \quad (117)$$

$$S_{yi}^l(x) = 2^{1/2} \cdot \sigma_y(x + x_t), \text{ при } b_i^l = 0 \quad (118)$$

Сохранение энергии в облаке $E_{эфф\ i}^l$

$$\frac{d}{dx}[E_{эффi}^l] = 2 \cdot B_{эффi}^l \cdot \rho_{возд} \cdot u_{подм}^{верх} \cdot e_{возд} + 2 \cdot H_{эффi}^l \cdot \rho_{возд} \cdot \gamma_{подм} \cdot \frac{d}{dt}[B_{эффi}^l] \cdot e_{возд} + 2 \cdot B_{эффi}^l \cdot E_{повi}^l \quad (119)$$

Способ расчета удельного теплового потока в облако $E_{повi}^l$ приведена в разделе 3.2.8.

Положение переднего края облака x_{ni}^l (после окончания l стадии выброса определяется положение и его заднего края x_{zi}^l)

$$\frac{d}{dt}[x_{ni}^l] = u_{эффi}^l \quad (120)$$

$$x_{zi}^l = \begin{cases} 0, & \text{при } t < \sum_{j=1}^6 t_i^j \\ x_{ni}^l \left(t - \sum_{j=1}^6 t_i^j \right), & \text{при } t \geq \sum_{j=1}^6 t_i^j \end{cases} \quad (121)$$

Величины $\rho_{эффi}^l$ ($V_{эффi}^l$), $T_{эффi}^l$, используемые в вышеприведенных формулах, а также величина $q_{жи}^l$ вычисляются согласно подходу, изложенному в приложении 9.

3.2.8 Определение удельного потока энергии в облако от поверхности земли.

$$E_{повi}^l = \begin{cases} \max[E_{повестi}^l, E_{поввыни}^l], & T_{поврас} > T_{эффi}^l \\ E_{поввыни}^l, & T_{поврас} \leq T_{эффi}^l \end{cases} \quad (122)$$

$$E_{поввыни}^l = 1.22 \cdot \left(\frac{u_*^2}{u_{10}} \right)^2 \cdot \rho_{эффi}^l \cdot C_{pi}^l \cdot (T_{поврас} - T_{эффi}^l) \quad (123)$$

$$C_{pi}^l = \frac{((q_i^l - q_{жи}^l) \cdot C_{ргаз} + q_{жи}^l \cdot C_p + (q_{сумi}^l - q_{жи}^l) \cdot C_{рвозд})}{q_{сумi}^l} \quad (124)$$

$$E_{повестi}^l = 3.5 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{(T_{поврас} - T_{эффi}^l)^2}{0.5 \cdot (T_{поврас} + T_{эффi}^l)} \right)^{2/3} \cdot \frac{P_0}{R} \cdot (g)^{1/3} \quad (125)$$

3.3. Концентрация в точке в момент времени t при i -ом сценарии определяется по формуле

$$c_i(x, y, z, t) = c_i^0(x, y, z, t) + c_i^{жк}(x, y, z, t) + c_i^{отс\ выб}(x, y, z, t) + c_i^r(x, y, z, t) + c_i^{гн}(x, y, z, t) + c_i^u(x, y, z, t) + c_i^e(x, y, z, t) \quad (126)$$

3.4. Определяется максимально возможная концентрация на расстоянии x от места аварии при i -ом сценарии и время $t_{\max}(x, y, z)$, когда достигается эта концентрация. В зависимости от $t_{\max}(x, y, z)$ определяется за счет какой стадии (или сочетания стадий аварии) достигаются максимальные концентрации:

$$c_i^{\max}(x, y, z) = \max(c_i(x, y, z, t)) \quad (127)$$

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

3.6. Сравнением с пороговыми и смертельными токсодозами (см. Таблица 7 приложения 8) определяются расстояния, соответствующие смертельному поражению и пороговому воздействию. Для оценки вероятности смертельного поражения человека используется пробит-функция Pr , по которой с использованием (см. Таблица 7, Таблица 8 приложения 8) определяется вероятность смертельного поражения человека на открытом пространстве. Величина Pr определяется по следующей формуле:

$$Pr = a + b \ln \left(\int_0^{t_{\text{эксп}}} (c_i(x, y, z, t))^n dt \right), \quad (128)$$

где коэффициенты a, b, n берутся из Таблица 7.

3.7 Для взрывопожароопасных выбросов в момент времени t_0 определяются поверхности, ограничивающие в пространстве области ВКПВ $\Sigma_{\text{ВКПВ}}$ и 0,5НКПВ $\Sigma_{0,5\text{НКПВ}}$,

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

$$c_{\text{ВКПВ}} = c_i(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{ж}}(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{отс выб}}(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{г}}(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{гн}}(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{н}}(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{е}}(x, y, z, t_0). \quad (129)$$

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

$$0,5c_{\text{НКПВ}} = c_i(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{ж}}(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{отс выб}}(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{г}}(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{гн}}(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{н}}(x, y, z, t_0) + c_i^{\text{е}}(x, y, z, t_0). \quad (130)$$

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

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

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

$$0,5c_{\text{НКПВ}} = c_i(x, y, z_0, t_0) + c_i^{\text{ж}}(x, y, z_0, t_0) + c_i^{\text{отс выб}}(x, y, z_0, t_0) + c_i^{\text{г}}(x, y, z_0, t_0) + c_i^{\text{гн}}(x, y, z_0, t_0) + c_i^{\text{н}}(x, y, z_0, t_0) + c_i^{\text{е}}(x, y, z_0, t_0). \quad (131)$$

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

$$0,5c_{\text{НКПВ}} = c_i(x_0, y, z, t_0) + c_i^{\text{ж}}(x_0, y, z, t_0) + c_i^{\text{отс выб}}(x_0, y, z, t_0) + c_i^{\text{г}}(x_0, y, z, t_0) + c_i^{\text{гн}}(x_0, y, z, t_0) + c_i^{\text{н}}(x_0, y, z, t_0) + c_i^{\text{е}}(x_0, y, z, t_0). \quad (132)$$

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

$$0,5c_{\text{НКПВ}} = c_i(x, y_0, z, t_0) + c_i^{\text{ж}}(x, y_0, z, t_0) + c_i^{\text{отс выб}}(x, y_0, z, t_0) + c_i^{\text{г}}(x, y_0, z, t_0) + c_i^{\text{гн}}(x, y_0, z, t_0) + c_i^{\text{н}}(x, y_0, z, t_0) + c_i^{\text{е}}(x, y_0, z, t_0). \quad (133)$$

Линия, ограничивающая в соответствующей плоскости ($z=z_0$, $y=y_0$ или $x=x_0$) область, где возможно воспламенение и горение пожаровзрывоопасного ОВ определяется как огибающая линий, определяемых соответствующей кривой (131)-(133), за все моменты времени t_0 существования в пространстве концентраций выше 0,5НКПВ.

3.9 Для взрывопожароопасных выбросов в момент времени t_0 определяются масса топлива, находящаяся во взрывоопасных пределах и способная участвовать в процессах горения или детонации. Эта масса определяется путем интегрирования концентрации по пространству, ограниченному поверхностями $\Sigma_{ВКПВ}$ и $\Sigma_{0,5НКПВ}$:

$$Q_{вз} = \iiint_{\Sigma_{0,5НКПВ} < V < \Sigma_{ВКПВ}} c(x, y, z, t_0) dx dy dz \quad (134)$$

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 3) (рис. 1 и 2).

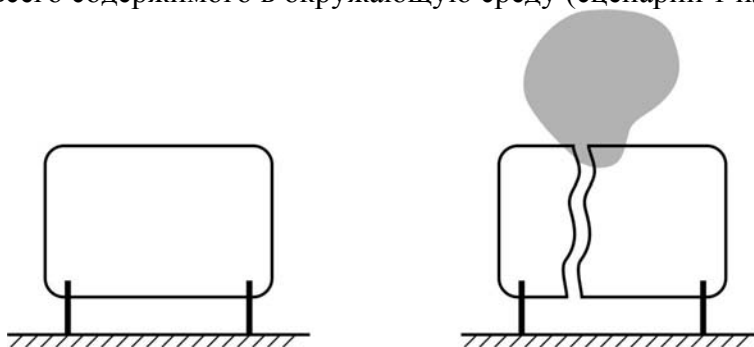


Рис. 1. Мгновенное разрушение емкости с газом

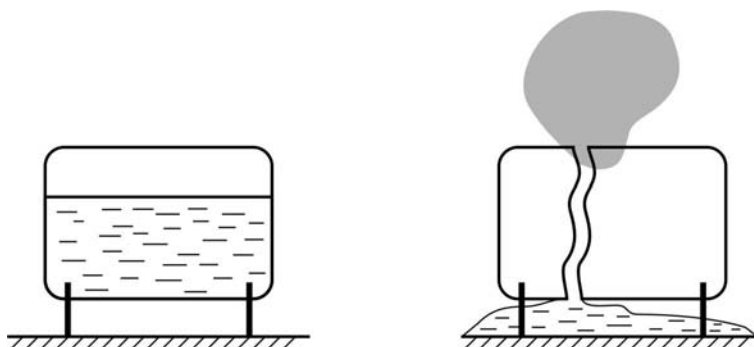


Рис. 2. Мгновенное разрушение емкости с жидкой фазой

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

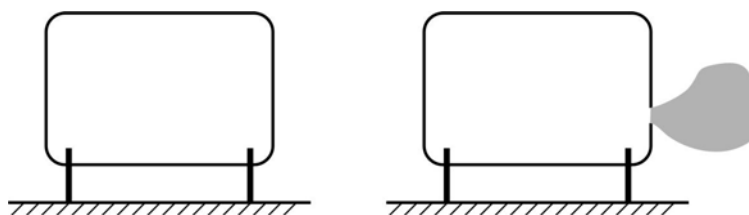


Рис. 3. Разгерметизация емкости с газом

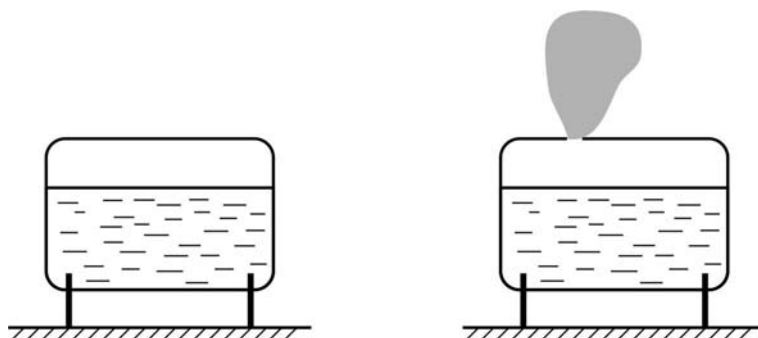


Рис. 4. Разгерметизация емкости с жидкой фазой выше уровня жидкости

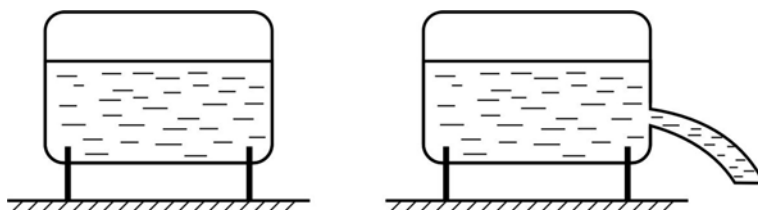


Рис. 5. Разгерметизация емкости с жидкой фазой ниже уровня жидкости

3. Для емкости с газом или жидкой фазой с присоединенным трубопроводом возможно образование отверстия разгерметизации в стенке трубопровода либо полный разрыв трубопровода на некотором расстоянии от емкости (сценарий 2 или 4). При этом трубопровод может быть оснащен запирающей арматурой, которая при срабатывании изолирует разгерметизированный (разрушенный) участок трубопровода от емкости. В этом случае в окружающую среду поступают газ и (или) жидкость и (или) двухфазный поток. На рис. 6, 7 и 8 отсекаемый участок аварийного трубопровода обозначен *1* и расположен справа от задвижки, которая, в свою очередь, расположена на трубопроводе около емкости.

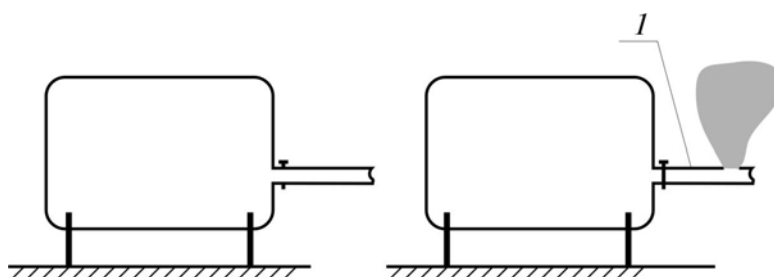


Рис. 6. Разгерметизация трубопровода с газом, присоединенного к емкости (*1* — отсекаемый участок аварийного трубопровода)

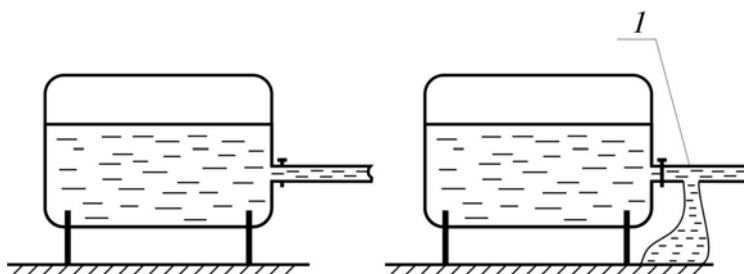


Рис. 7. Разгерметизация трубопровода с жидкой фазой, присоединенного к емкости (*1* — отсекаемый участок аварийного трубопровода)

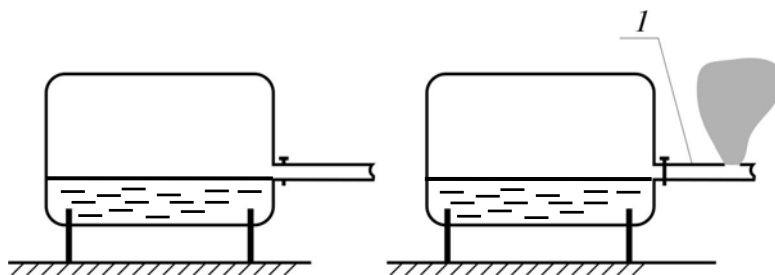


Рис. 8. Разгерметизация трубопровода с газовой фазой, присоединенного к емкости (*1* — отсекаемый участок аварийного трубопровода)

4. Для трубопровода с газом или жидкой фазой с нагнетающим компрессором или насосом возможно образование отверстия разгерметизации в стенке трубопровода либо полный разрыв трубопровода на некотором расстоянии от компрессора(насоса) (сценарий 2 или 4). При этом трубопровод может быть оснащен запирающей арматурой, которая при срабатывании изолирует разгерметизированный (разрушенный) участок трубопровода от емкости. В этом случае в окружающую среду поступают газ и (или) жидкость и (или) двухфазный поток. На рис. 9 и 10 отсекаемый участок аварийного трубопровода обозначен *1* и расположен справа от задвижки, которая, в свою очередь, расположена на трубопроводе около компрессора (насоса).

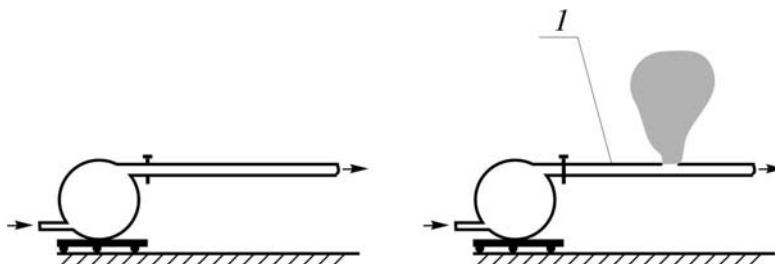


Рис. 9. Разгерметизация трубопровода с газом, присоединенного к компрессору (*1* — отсекаемый участок аварийного трубопровода)

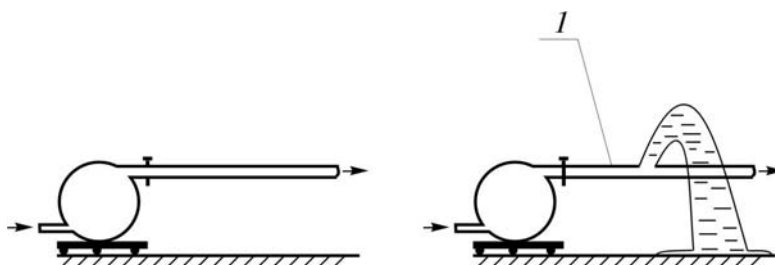


Рис. 10. Разгерметизация трубопровода с жидкой фазой, присоединенного к насосу (*1* — отсекаемый участок аварийного трубопровода)

СХЕМЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО И ВТОРИЧНОГО ОБЛАКОВ (С УКАЗАНИЕМ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАКОВ)

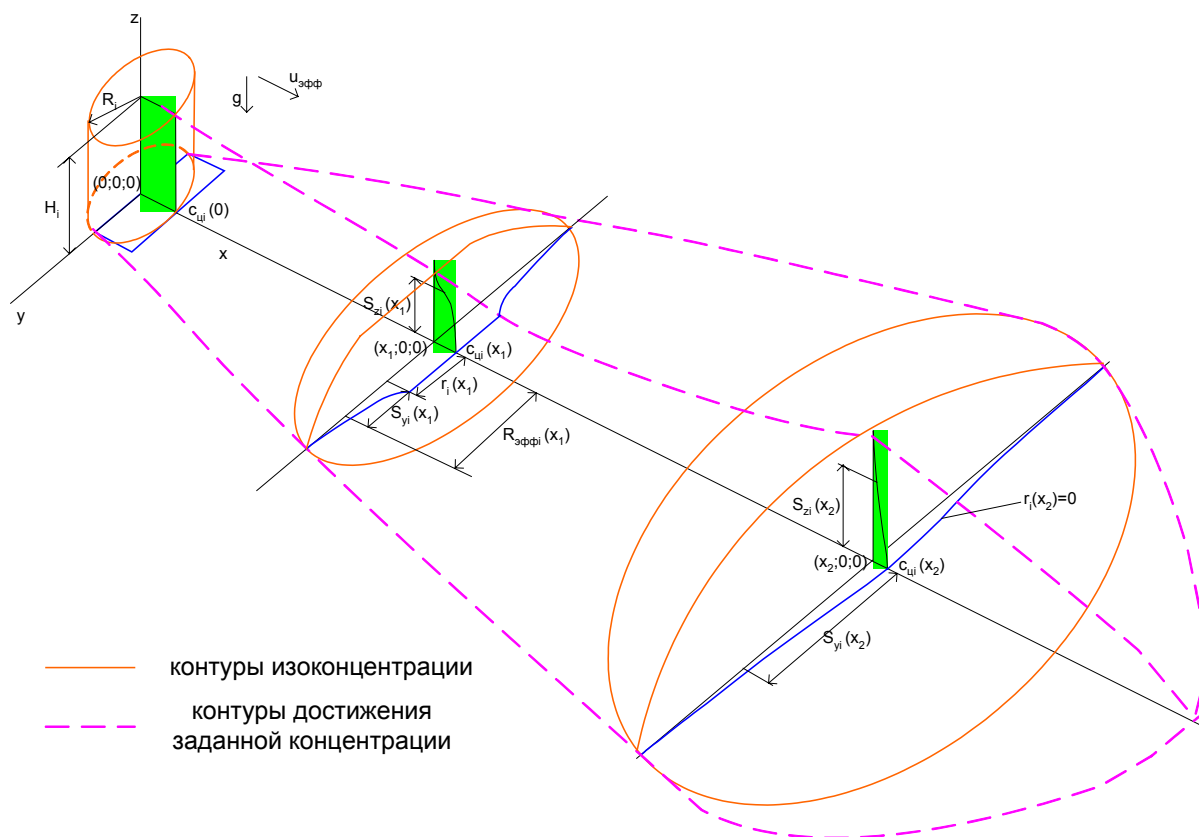


Рис.11. Схема рассеяния первичного облака «тяжелого» газа.

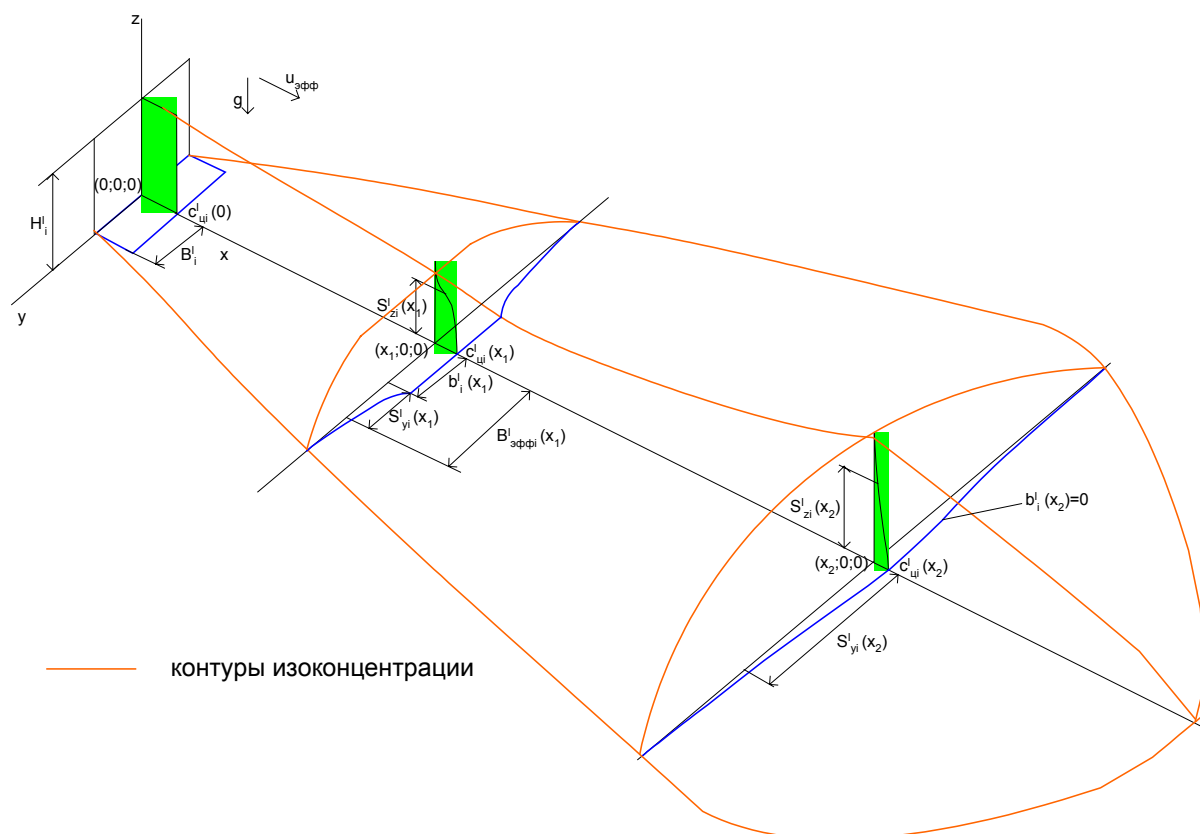


Рис. 12. Схема рассеяния вторичного облака «тяжелого» газа.

ВОЗМОЖНЫЕ СТАДИИ РАЗВИТИЯ АВАРИИ

В общем случае можно выделить восемь возможных стадий развития аварийной ситуации:

- 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;
- ликвидация аварии (ликвидация отверстия разгерметизации и пролива).

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

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

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

Предполагается, что на каждой стадии процесс протекает стационарно.

Рекомендации по учету нестационарных эффектов даны в приложении 5.

Сценарий 1 (рис. 1 приложения 1)

Разрушение оборудования с выбросом всего объема ОВ, образование первичного облака, рассеяние первичного облака и воздействие на окружающую среду.

Сценарий 2 (рис. 3, 6, 8, 9 приложения 1)

Разрушение оборудования и истечение газа из разрушенного оборудования при отсутствии пролива жидкой фазы; рассеяние облака и воздействие на окружающую среду.

При истечении газа из разрушенного трубопровода возможно отсечение (либо в результате использования запирающей арматуры, либо в результате остановки компрессоров, подающих ОВ в трубопровод, либо в результате и того и другого) аварийного участка трубопровода и истечение ОВ из него. При этом также образуется облако, которое рассеивается в атмосфере и воздействует на окружающую среду.

Возможно прекращение выброса путем ликвидации отверстия разгерметизации.

Сценарий 3 (рис. 2 приложения 1)

Разрушение оборудования с жидким ОВ, выброс ОВ в окружающую среду, при наличии перегрева у жидкой фазы возможно ее вскипание с образованием в атмосфере газокпельного облака. Часть жидкой фазы может пролиться на подстилающую поверхность — либо в обвалование, либо на неограниченную площадь. Если температура кипения жидкость 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 газокпельной фазы и из газа, образующегося при кипении пролива,

образуется первичное облако, которое рассеивается в атмосфере и воздействует на окружающую среду.

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

Возможно прекращение поступления ОВ в окружающую среду путем ликвидации пролива.

Сценарий 4. Аварии на емкости (рис. 4 и 5 приложения 1)

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

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

Если жидкость в емкости находилась в перегретом состоянии, то происходит вскипание жидкости сразу после ее выброса из емкости и образование в атмосфере газокапельной взвеси. Затем, если температура кипения меньше температуры поверхности, происходит кипение жидкой фазы (той ее части, что не участвовала в формировании газокапельной взвеси в атмосфере) при проливе ее на подстилающую поверхность. При этом из газа, образовавшегося при кипении пролива, а также из газокапельной взвеси выброса, поступившего из емкости в атмосферу за время кипения пролива, формируется первичное облако, которое рассеивается в атмосфере и воздействует на окружающую среду.

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

После окончания выброса жидкой фазы из емкости начинается истечение газовой фазы из нее за счет наличия избыточного давления в емкости. При этом на стадии истечения газовой фазы продолжается испарение пролива. В результате в атмосфере образуется вторичное облако ОВ, состоящее из газообразного ОВ, испарившегося с пролива, и из газообразного ОВ, поступающего из разрушенной емкости за счет наличия избыточного давления в емкости. Такое вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока будет существовать возможность выброса газовой фазы из емкости за счет избыточного давления в емкости и испарения из пролива. Причем если в емкости

находилась перегретая жидкость, то в формирующееся на месте аварии вторичное облако будет поступать не только газовая фаза, находившаяся в емкости на начало аварии, но и газовая фаза, образующаяся при вскипании в емкости перегретой жидкости.

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

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

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

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

Сценарий 4. Аварии на трубопроводах, на входе которых стоит емкость (рис. 7-8 приложения 1)

Разрушение трубопровода, выходящего из емкости выше уровня жидкости, и истечение газа из разрушенного оборудования при отсутствии пролива жидкой фазы (если жидкость находится в перегретом состоянии, то при достаточном падении давления происходит 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 газового облака ОВ (вторичного) и воздействие его на окружающую среду. При наличии запирающей арматуры возможно отсечение аварийного участка трубопровода и истечение ОВ только из этого аварийного участка. При этом также образуется облако, которое рассеивается в атмосфере и воздействует на окружающую среду. Если и давление в емкости (или в отсеченном участке трубопровода) упало и стало равным атмосферному, то поступление ОВ в окружающую среду будет обусловлено лишь испарением ОВ с поверхности жидкости в емкости и/или в отсеченном участке трубопровода. При этом в атмосфере образуется вторичное облако ОВ, состоящее из газообразного ОВ, поступающего из разгерметизированной емкости и/или отсеченного участка трубопровода за счет испарения ОВ из них. Вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока не испарится все ОВ из емкости.

Возможно прекращение выброса путем ликвидации отверстия разгерметизации.

При разрушении трубопровода, выходящего из емкости ниже уровня жидкости, стадии аварии будут аналогичны описанным выше в разделе «Сценарий 4. 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 (после выброса из трубопровода) — случай малого расстояния от места выброса до присоединения емкости с трубопроводом, но и в самом трубопроводе — случай достаточной удаленности места выброса от места соединения трубопровода с емкостью.

Во-вторых, при наличии на трубопроводе запирающей 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 и отличается лишь изменением количественных параметров, при которых происходит выброс.

Сценарий 4. Аварии на трубопроводах, на входе которых стоит насос (рис. 9, 10 приложения 1)

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

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

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

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

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

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

ПЕРЕЧЕНЬ ДАННЫХ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТА

Для проведения расчетов по любому из четырех сценариев необходимо знать следующие характеристики окружающей среды:

тип местности, где происходит рассеяние выброса (необходим для определения $z_{\text{пов}}$ — характерного размера шероховатости подстилающей поверхности (см. Приложение 8);

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 (необходим для определения класса устойчивости атмосферы);

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

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

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

при наличии проливов вскипающих жидкостей — характеристики подстилающей поверхности (плотность, теплоемкость, теплопроводность) и температура подстилающей поверхности (на месте пролива и на месте, где происходит рассеяние выброса);

время экспозиции для человека, попадающего в область поражения.

В каждом сценарии желательно знать способ определения начальных размеров облаков, формирующихся на месте пролива (первичного и вторичных).

Сценарий 1

Либо Q — общая масса газообразного ОВ в оборудовании в кг,

либо V_1 , P_1 , T_1 — объем оборудования (емкости), м^3 ; давление в оборудовании (емкости), Па; температура в оборудовании (емкости), $^{\circ}\text{К}$, по которым можно определить Q .

Сценарий 2

P_2 — давление в оборудовании, Па;

ρ_2 — плотность ОВ в оборудовании, $\text{кг}/\text{м}^3$; либо определяется по давлению P_2 и температуре T_2 в оборудовании; либо определяется по общей массе газообразного ОВ в оборудовании Q и объему оборудования V_2 ;

Q — общая масса газообразного ОВ в оборудовании (без учета массы ОВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода), кг; либо V_2 , T_2 — объем оборудования, м^3 , и температура в оборудовании, $^{\circ}\text{К}$, по которым вместе с давлением в оборудовании P_2 , Па, можно определить Q ;

$Q_{\text{тр}}$ — общая масса ОВ в отсекаемом аварийном участке трубопровода, кг, необходима для расчета выбросов из трубопровода;

S — площадь отверстий разгерметизации, м^2 ;

$S_{\text{тр}}$ — площадь поперечного сечения трубопровода, м^2 ;
 $q_{\text{комп}}$ — расход компрессора, кг/с , необходим при расчете выброса с трубопровода, на входе которого стоит компрессор, в случае, если площадь отверстия разгерметизации трубопровода превосходит 20 % поперечного сечения трубопровода;
 $t_{\text{ликвид}}$ — время ликвидации отверстий разгерметизации, с ;
 $t_{\text{отс}}$ — для выбросов из трубопровода, если количество ОВ в отсекаемом участке трубопровода составляет более 20 % общего количества выброса, принимается равным времени отсечения аварийного участка (времени остановки насоса); для остальных ситуаций принимается равным времени ликвидации отверстий разгерметизации $t_{\text{ликвид}}$, с .

Сценарий 3

P_3 — давление в оборудовании, Па ;
 T_3 — температура в оборудовании, $^{\circ}\text{К}$;
 $Q_{\text{г}}$ — общая масса газообразного ОВ в оборудовании, кг ; либо V_3 и a — объем оборудования, м^3 , и объемная доля оборудования, заполненная газовой фазой, по которым вместе с давлением в оборудовании и температурой в оборудовании можно определить;
 $Q_{\text{ж}}$ — масса жидкого ОВ в оборудовании, кг .

Сценарий 4

P_4 — давление в оборудовании, Па ;
 T_4 — температура в оборудовании, $^{\circ}\text{К}$;
 ρ_4 — плотность газовой фазы ОВ в оборудовании, кг/м^3 ; либо определяется по давлению P_4 и температуре T_4 в оборудовании;
 H — высота, м , столба жидкости ОВ в оборудовании над уровнем отверстия, через которое происходит истечение; при истечении из трубопровода, на входе которого стоит насос, принимается равной 0 м ;
 L — длина участка трубопровода от входа до места разгерметизации, м ;
 $D_{\text{тр}}$ — диаметр трубопровода, м ;
 $q_{\text{насос}}$ — расход насоса компрессора, кг/с , необходим при расчете выброса с трубопровода, на входе которого стоит насос, в случае, если площадь отверстия разгерметизации трубопровода превосходит 20 % поперечного сечения трубопровода;
 S — площадь отверстий разгерметизации, м^2 ;
 $t_{\text{ликвид}}$ — время ликвидации отверстий разгерметизации и пролива, с ;
 $t_{\text{отс}}$ — время отсечения аварийного участка (время остановки насоса), с ;
 $S_{\text{обор}}$ — максимальная площадь поверхности жидкости в оборудовании, м^2 ;
 $Q_{\text{ж}}$ — масса, кг , жидкого ОВ в оборудовании (при истечении из трубопровода с насосом на входе равно $Q_{\text{Н}}^{\text{ж}}$), не включает в себя массу жидкого ОВ в аварийном участке отсекаемого трубопровода;
 $Q_{\text{г}}$ — масса газообразного ОВ в оборудовании, кг ;
 $Q_{\text{Н}}^{\text{ж}}$ — масса жидкого ОВ в оборудовании выше уровня отверстия, через которое происходит истечение, кг (при истечении из трубопровода с насосом на входе принимается равным бесконечной величине; если отверстие разгерметизации выше уровня жидкости, то величина принимается равной нулю);
 $Q_{\text{тр}}^{\text{ж}}$ — масса жидкого ОВ, способного поместиться в отсекаемом участке трубопровода, кг , определяется перемножением объема отсекаемого участка трубопровода на плотность жидкого ОВ;

$H_{\text{тр.отс}}$ — высота столба жидкого ОВ в трубопроводе над уровнем отверстия, через которое происходит истечение на момент отсечения аварийного участка трубопровода, м; необходима только при истечении из трубопровода, если количество ОВ в отсекаемом участке трубопровода составляет более 20 % общего количества выброса, в остальных случаях принимается равной нулю; определяется из геометрических характеристик оборудования, общего количества жидкого ОВ в оборудовании перед аварией и количества ОВ, вытекшего из оборудования до момента отсечения;

$Q_{\text{н}}^{\text{ж.тр}}$ — масса жидкого ОВ в аварийном участке трубопровода выше уровня отверстия, через которое происходит истечение, на момент начала аварии, кг; необходима только при истечении из трубопровода, если количество ОВ в отсекаемом участке трубопровода составляет более 20 % общего количества выброса; определяется из геометрических характеристик оборудования и общего количества жидкого ОВ в оборудовании перед аварией;

$Q_{\text{отс}}^{\text{г}}$ — масса газообразного ОВ в отсекаемом участке трубопровода на момент отсечения, кг; необходима при истечении из трубопровода, если количество ОВ в отсекаемом участке трубопровода составляет более 20 % общего количества выброса; определяется из геометрических характеристик оборудования, общего количества жидкого ОВ в оборудовании перед аварией, количества ОВ, вытекшего из оборудования до момента отсечения, и параметров газовой фазы в оборудовании;

$Q_{\text{тр}}^{\text{ж.отс}}$ — масса жидкого ОВ в отсекаемом участке трубопровода на момент отсечения, кг; необходима при истечении из трубопровода, если количество ОВ в отсекаемом участке трубопровода составляет более 20 % общего количества выброса; определяется из геометрических характеристик оборудования, общего количества жидкого ОВ в оборудовании перед аварией, количества ОВ, вытекшего из оборудования до момента отсечения;

$Q_{\text{н.отс.тр}}^{\text{ж.отс}}$ — масса жидкого ОВ в аварийном участке трубопровода выше уровня отверстия, через которое происходит истечение, на момент отсечения аварийного участка трубопровода, кг; необходима при истечении из трубопровода, если количество ОВ в отсекаемом участке трубопровода составляет более 20 % общего количества выброса; определяется из геометрических характеристик оборудования, общего количества жидкого ОВ в оборудовании перед аварией, количества ОВ, вытекшего из оборудования до момента отсечения, и расположения отверстия разгерметизации.

ПЕРЕЧЕНЬ РАССЧИТЫВАЕМЫХ ВЕЛИЧИН

Основными величинами, рассчитываемыми в Методике, являются:

пространственно-временное распределение концентраций ОВ, в том числе пространственное распределение максимально достигаемой концентрации в данной точке на поверхности земли;

пространственные размеры зон достижения токсодоз заданной величины, в том числе пороговой и смертельной, размеры зон токсического поражения заданной вероятности, а также размеры зон, ограниченных концентрационными пределами воспламенения;

количество ОВ в облаке, которое может участвовать во взрывных превращениях (горении и детонации) ограниченном концентрационными пределами воспламенения.

В ходе расчета также определяются: количество ОВ, поступающее в окружающую среду, в том числе в газовой и жидкой фазах; количество ОВ, распространяющееся в атмосфере и выпадающее на подстилающую поверхность (при наличии жидкой фазы); площадь пролива и скорость испарения ОВ из него (при наличии жидкой фазы); при продолжительном выбросе определяются скорость и длительность поступления ОВ в окружающую среду, масса капельных включений в облаках (первичном и вторичных), эффективные температура и плотность в облаках, геометрические характеристики облаков (эффективные высота и радиус/полуширина), скорости распространения облаков.

УЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЭФФЕКТОВ

Для более точных расчетов допускается разбиение стадий, перечисленных в приложении 3 и используемых в Методике, на отдельные подстадии меньшей продолжительности. Для каждой подстадии в этом случае определяются входные данные, перечисленные в приложении 4, с учетом изменений в системе, происшедших на предыдущих подстадиях.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

Пример 1. В опорожненном шаровом резервуаре вместимостью 2000 м^3 находится хлорметан в газовой фазе при температуре окружающей среды ($20 \text{ }^\circ\text{C}$) и давлении 1 атм. Резервуар расположен на товарно-сырьевой базе в равнинной местности, характерный размер шероховатости $0,0075 \text{ м}$. Происходит разрушение емкости и выбрасывается все опасное вещество. Метеоусловия: скорость ветра на высоте 10 м – $3,2 \text{ м/с}$, безоблачная ночь.

Определить концентрации хлорметана в атмосфере, размеры взрывопожароопасного облака смеси хлорметана с воздухом при его рассеянии до концентрации, соответствующей половине нижнего концентрационного предела воспламенения ($0,5\text{НКПВ}$). НКПВ для хлорметана – $8,1\%$.

Решение:

1. По условиям хранения и характеру разрушения определяем тип сценария аварийной ситуации — 1.
2. По формулам (1) и (2) определяем количество хлорметана в первичном облаке $Q_1 = 4200 \text{ кг}$.
3. По формуле (5) с использованием формулы (2) определяем плотность ОВ в выбросе — $2,1 \text{ кг/м}^3$.
4. Учитывая, что хлорметан находится в сферической емкости, начальный диаметр первичного облака полагается равным его высоте. Они соответственно равны $13,6 \text{ м}$.
5. Характерный размер шероховатости принимается из исходных данных $z_{\text{пов}} = 0,0075 \text{ м}$.
6. С использованием приложения 8 (Таблица 2) определяем класс устойчивости атмосферы — Е.
7. С использованием приложения 8 (Таблица 3 - Таблица 5) определяем коэффициенты, используемые при расчете дисперсии, скорости подмешивания воздуха в облако.
8. Для определения концентрации хлорметана в атмосфере (95) - (96) численно решаем систему обыкновенных дифференциальных уравнений (97) – (105) с использованием (91) - (94). Результаты расчета приведены на рис.13.

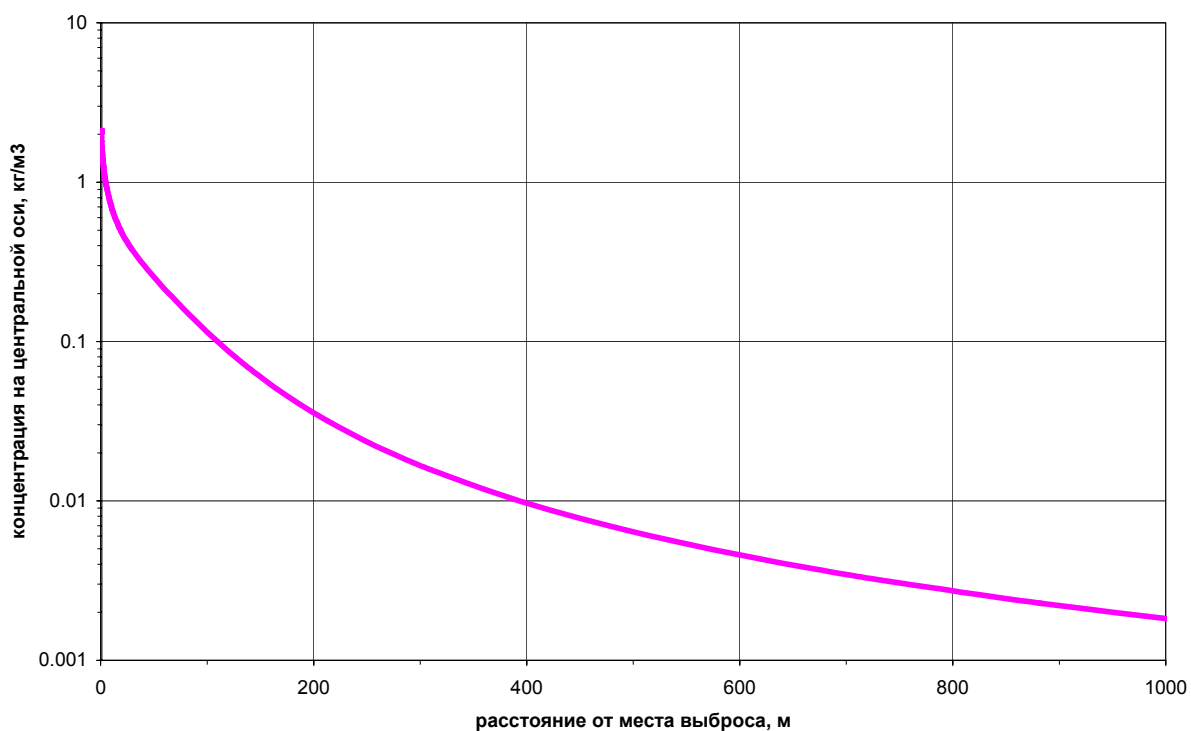


рис.13 Максимальная концентрация на оси облака (в направлении по ветру) при выбросе хлорметана (пример 1)

9. С помощью соотношений (129) - (133) определяем размеры взрывопожароопасного облака смеси хлорметана с воздухом при его рассеянии (рис. 14-15).

10. Т.к. высота облака в пределах зоны, где рассматривается рассеяние (1000 м), не превосходит 20 м, то согласно п. 3.1.3 повторный расчет не требуется.

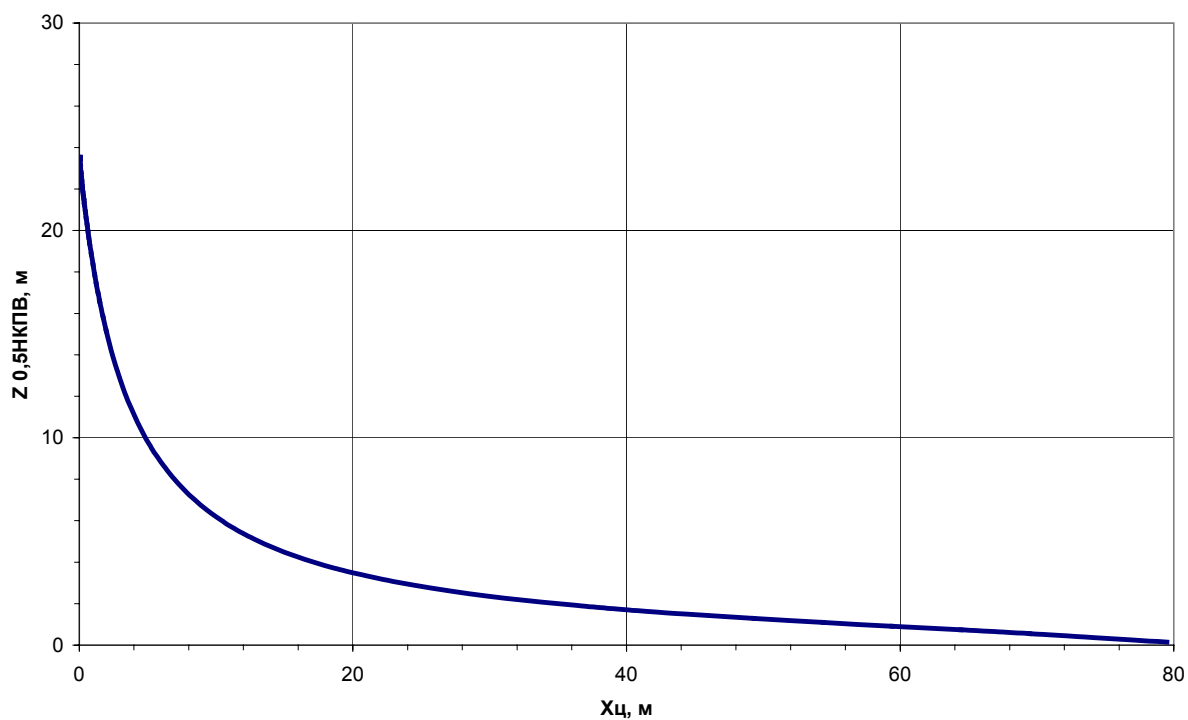


рис.14 Сечение зоны, ограниченной 0,5 НКПВ плоскостью $x=x_{\text{ц}}, y=0$ (в направлении по ветру) при выбросе хлорметана (пример 1)

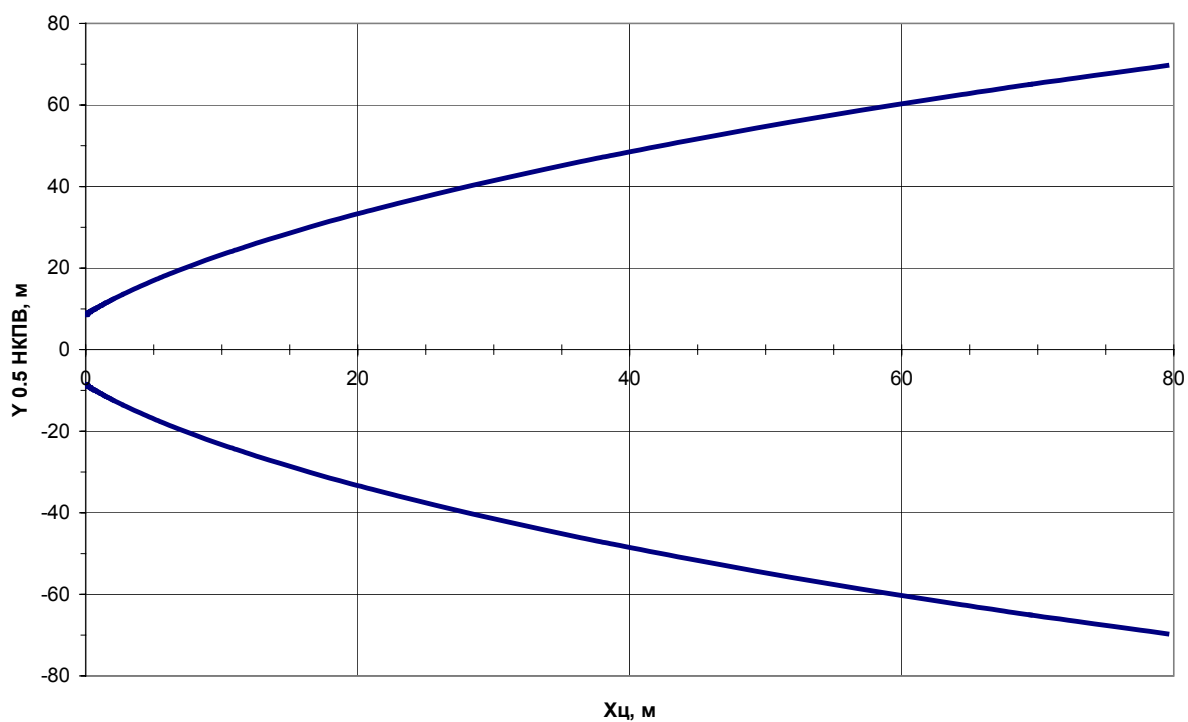


рис.15 Сечение зоны, ограниченной 0,5 НКПВ плоскостью $x=x_{\text{ц}}, z=0$ (в направлении по ветру) при выбросе хлорметана (пример 1)

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

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 (12) определяем расход выброса $q_{\text{выб}} = 10,3$ кг/с.
3. Определяем плотность ОВ в выбросе по формуле (16) $\rho_2^{\text{гн}} = 2,65$ кг/м³.
4. По формуле (14) определяем длительность выброса $t_2^{\text{гн}} = 400$ с.
5. Поскольку выброс осуществляется с высоты 0,5 м и плотность выброса больше плотности воздуха высота вторичного облака в начальном сечении была принята $H_2^{\text{гн}} = 0,5$ м. Тогда по формуле (18) рассчитывается ширина сечения вторичного облака (шлейфа) в начальный момент времени - $B_2^{\text{гн}} = 6$ м.
6. С использованием приложения 8 (Таблица 2) определяем класс устойчивости атмосферы — Е.
6. С использованием приложения 8 (Таблица 3 - Таблица 5) определяем коэффициенты, используемые при расчете дисперсии, скорости подмешивания воздуха в облако.
7. Для определения концентрации хлорциана в атмосфере (112) - (113) численно решаем систему обыкновенных дифференциальных уравнений (114) - (122) с использованием (108) - (111) для стадии истечения газа в отсутствии пролива.
8. По формулам (127) - (126) рассчитываем поле концентрации при выбросе газообразного хлорциана из трубопровода. Соответствующие значения концентрации на оси выброса приведены на рис. 16.

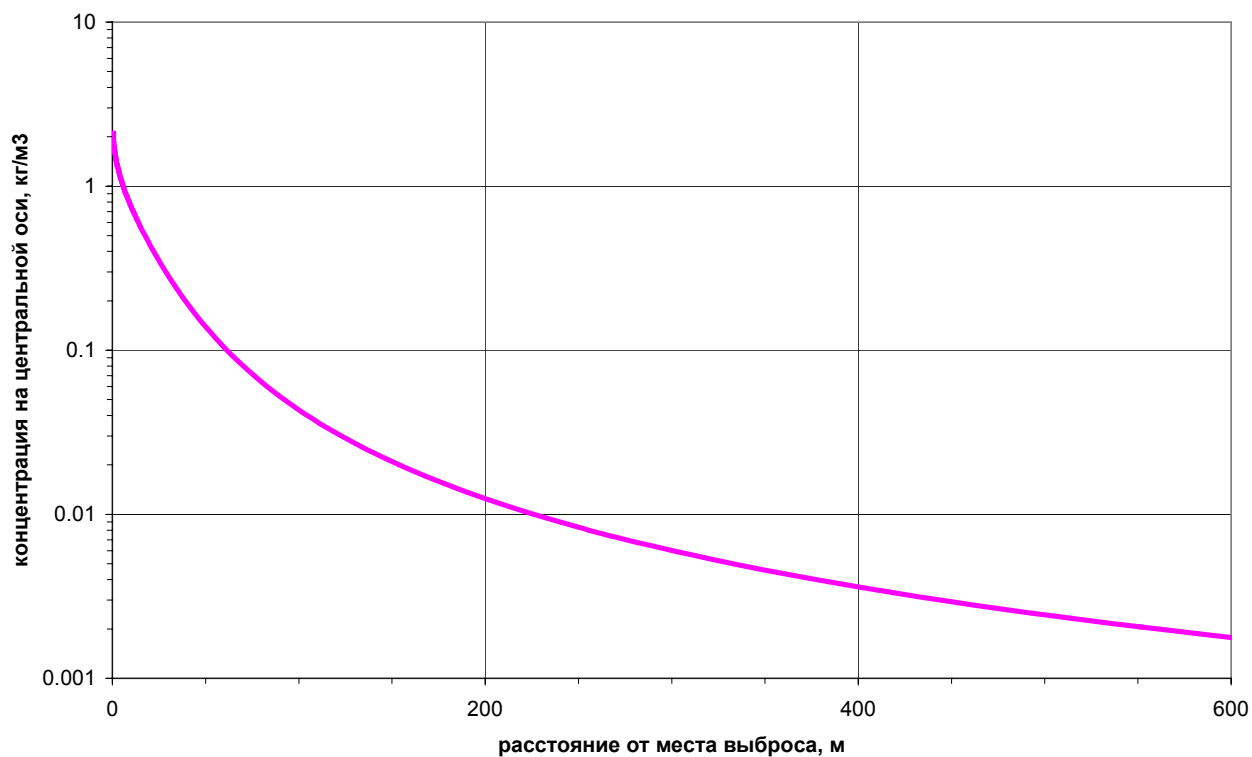


рис.16 Максимальная концентрация на оси облака (в направлении по ветру) при выбросе хлорциана (пример 2)

9. В соответствии с п. 3.5 – 3.6 и по значению смертельной токсодозы для хлорциана 11 мг·мин/л определяем размеры зоны смертельного поражения (см. рис. 17-18).

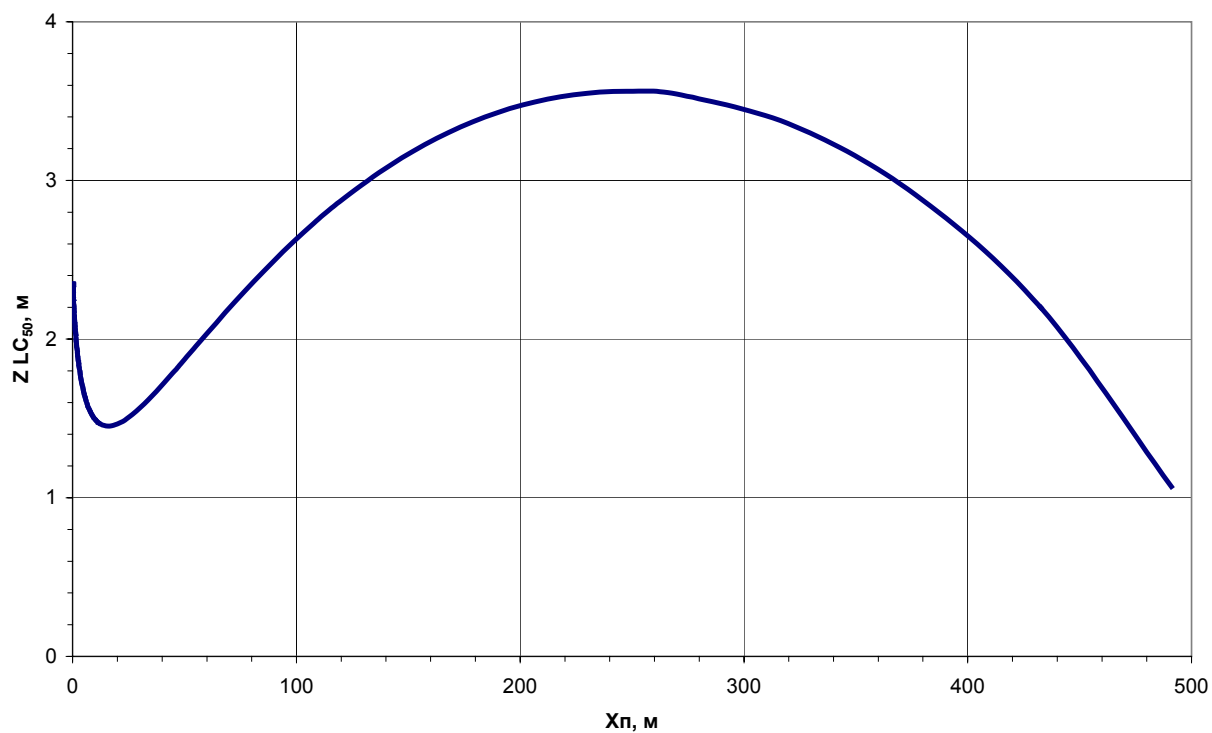


рис.17 Сечение зоны смертельного поражения плоскостью $x=x_n, y=0$ (в направлении по ветру) при выбросе хлорциана (пример 2)

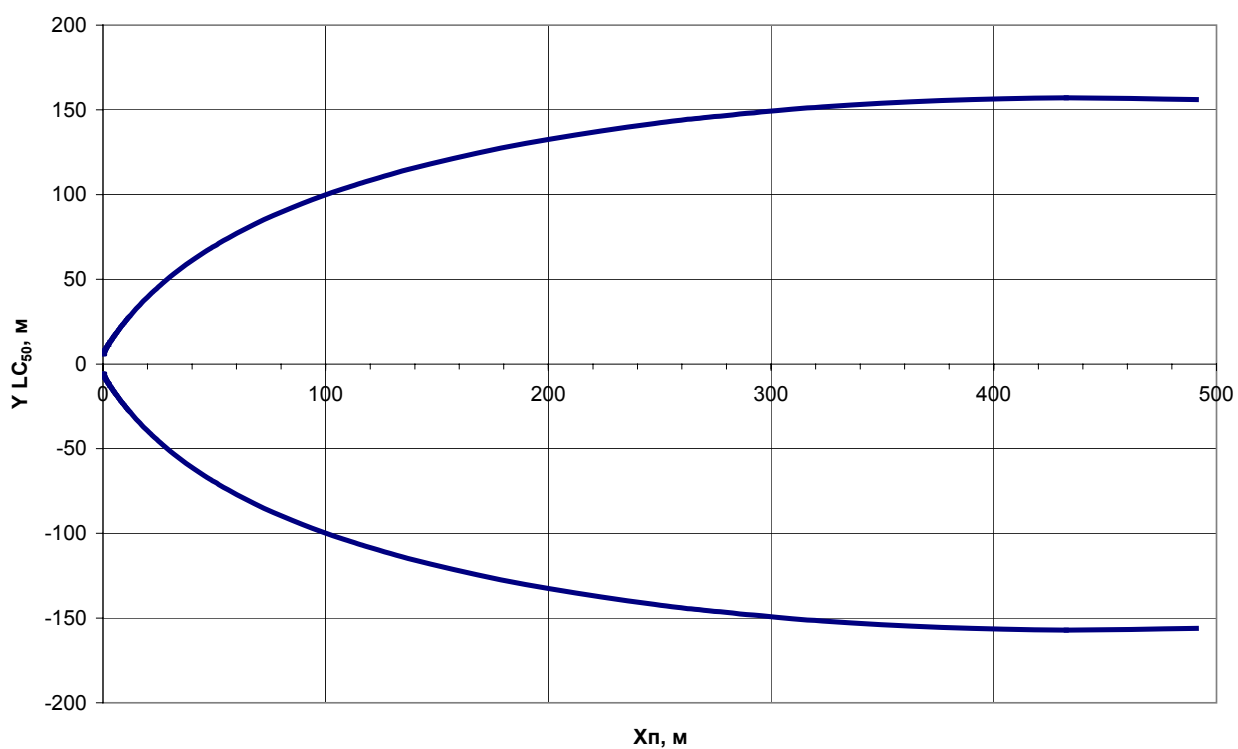


рис.18 Сечение зоны смертельного поражения плоскостью $x=x_n, z=0$ (в направлении по ветру) при выбросе хлорциана (пример 2)

Таблица 1

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	
$1 \cdot 10^{-5}$	Лед, равнина, покрытая грязью		
$9 \cdot 10^{-5}$	Равнины, покрытые снегом или укатанный грунт		
$1 \cdot 10^{-4}$	Поверхность открытого моря при штиле		
$1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$	Обширные водные поверхности		
$5 \cdot 10^{-4}$	Ровная поверхность пустыни		
$9 \cdot 10^{-4}$	Поверхность моря в прибрежной зоне при ветре с моря		
$2 \cdot 10^{-3}$	Снежная целина (с/х угодья)		
$7,5 \cdot 10^{-3}$	Равнинная местность: скошенная трава (≈ 30 см)	Равнинная местность, сельскохозяйственные угодья	
$1 \cdot 10^{-2}$	Равнинная местность: трава редкие деревья (зима, без листьев)		
$2,2 \cdot 10^{-2}$	Равнинная местность: некошенная трава		
$2,5 \cdot 10^{-2}$	Равнинная местность: одиночные деревья		Аэропорт – летное поле
$5 \cdot 10^{-2}$	Равнинная местность: высокая трава (60 см)		Сельскохозяйственные угодья: необработанные посевы зерновых
$5,5 \cdot 10^{-2}$	Равнинная местность: редкие деревья (лето)		
$8,5 \cdot 10^{-2}$	Холмистая местность	Большое количество заборов, изгородей, редкие здания	
$0,15 - 0,3$	Деревья		
$0,4$	Лесистая местность	Окраины города ⁵	
$0,55$		Центры малых городов ⁶	
$0,65$		Центры больших поселений и городов ⁷	
$0,9$	Леса		
$1,3$			
$1,35$			

⁵ Неоднородный рельеф местности⁶ Неоднородный рельеф местности⁷ Неоднородный рельеф местности⁸ Неоднородный рельеф местности

2	Крайне холмистая и гористая местность ⁹	Центры больших городов, районы с высотными зданиями ⁸
3		

Таблица 2

Класс устойчивости атмосферы (модифицированные классы устойчивости по Паскуиллуⁱ)

Скорость ветра, м/с	День ⁱⁱ				Сумерки ⁱⁱⁱ	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 3

Величина коэффициента α в зависимости от класса устойчивости атмосферы для различных характерных размеров шероховатости (приведены значения коэффициента для трех высот распространения выброса до 20 м, до 50 м, выше 50 м)

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

⁹ Неоднородный рельеф местности

	0,04	0,04	0,04	0,09	0,72	0,78
1 10 ⁻⁴	0,07/ 0,05/ 0,04	0,07/ 0,06/ 0,04	0,07/ 0,07/ 0,04	0,1/ 0,1/ 0,09	0,33/ 0,58/ 0,72	0,41/ 0,67/ 0,78
2 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	0,4/ 0,66/ 0,77
3 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	0,3/ 0,53/ 0,68	0,4/ 0,65/ 0,77
4 10 ⁻⁴	0,08/ 0,06/ 0,05	0,08/ 0,07/ 0,05	0,09/ 0,08/ 0,05	0,12/ 0,11/ 0,1	0,29/ 0,51/ 0,67	0,4/ 0,65/ 0,76
5 10 ⁻⁴	0,08/ 0,07/ 0,05	0,08/ 0,06/ 0,05	0,09/ 0,08/ 0,05	0,12/ 0,12/ 0,1	0,29/ 0,5/ 0,66	0,4/ 0,65/ 0,76
6 10 ⁻⁴	0,08/ 0,08/ 0,05	0,08/ 0,08/ 0,05	0,09/ 0,08/ 0,06	0,12/ 0,12/ 0,1	0,29/ 0,49/ 0,65	0,4/ 0,64/ 0,76
7 10 ⁻⁴	0,08/ 0,06/ 0,05	0,09/ 0,09/ 0,05	0,1/ 0,09/ 0,06	0,13/ 0,12/ 0,1	0,29/ 0,49/ 0,65	0,4/ 0,64/ 0,76
8 10 ⁻⁴	0,08/ 0,08/ 0,05	0,09/ 0,08/ 0,05	0,1 / 0,08/ 0,06	0,13/ 0,12/ 0,1	0,28/ 0,48/ 0,64	0,4/ 0,64/ 0,76
9 10 ⁻⁴	0,09/ 0,08/ 0,05	0,09/ 0,08/ 0,05	0,1/ 0,09/ 0,06	0,13/ 0,12/ 0,11	0,29/ 0,48/ 0,64	0,4/ 0,64/ 0,76
1 10 ⁻³	0,09/ 0,09/ 0,05	0,09/ 0,09/ 0,05	0,1/ 0,09/ 0,06	0,13/ 0,13/ 0,11	0,28/ 0,47/ 0,63	0,4/ 0,64/ 0,76
2 10 ⁻³	0,1/ 0,09/ 0,06	0,11/ 0,09/ 0,06	0,11/ 0,1/ 0,07	0,15/ 0,14/ 0,12	0,28/ 0,45/ 0,61	0,4/ 0,63/ 0,75
3 10 ⁻³	0,11/ 0,1/ 0,06	0,11/ 0,10/ 0,06	0,12/ 0,1/ 0,07	0,15/ 0,14/ 0,12	0,28/ 0,43/ 0,59	0,41/ 0,63/ 0,75
4 10 ⁻³	0,11/ 0,1/ 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 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 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
7 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 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 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 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 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/ 0,4/ 0,54	0,45/ 0,63/ 0,74
3 10 ⁻²	0,17/ 0,16/ 0,09	0,18/ 0,17/ 0,10	0,2/ 0,17/ 0,11	0,22/ 0,2/ 0,16	0,32/ 0,4/ 0,53	0,46/ 0,64/ 0,74
4 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/ 0,4/ 0,53	0,48/ 0,64/ 0,74
5 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/ 0,4/ 0,52	0,49/ 0,64/ 0,74
6 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 10 ⁻²	0,21/ 0,17/ 0,11	0,22/ 0,18/ 0,11	0,25/ 0,21/ 0,13	0,26/ 0,23/ 0,17	0,35/ 0,41/ 0,52	0,5/ 0,65/ 0,74

	0,11	0,12	0,14	0,18	0,52	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
$9 \cdot 10^{-2}$	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	0,6/ 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/ 0,3/ 0,24	0,47/ 0,46/ 0,52	0,63/ 0,7/ 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	0,4/ 0,3/ 0,21	0,4/ 0,32/ 0,26	0,5/ 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/ 0,5/ 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	0,7/ 0,74/ 0,8
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/ 0,8
2	0,63/ 0,45/ 0,33	0,53/ 0,38/ 0,28	0,53/ 0,39/ 0,28	0,49/ 0,4/ 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/ 0,5/ 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/ 0,4	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	0,6/ 0,55/ 0,48	0,78/ 0,71/ 0,69	0,9/ 0,89/ 0,9
8	0,23/ 0,10/ 0,01	1,04/ 0,90/ 0,69	0,7/ 0,55/ 0,44	0,62/ 0,57/ 0,49	0,8/ 0,72/ 0,71	0,91/ 0,9/ 0,9
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/ 0,9/ 0,91
10	0,30/ 0,19/ 0,01	1,04/ 1,04/ 1,04	0,73/ 0,58/ 0,47	0,65/ 0,6/ 0,52	0,82/ 0,75/ 0,73	0,93/ 0,91/ 0,92

Таблица 4

**Величины коэффициентов k_L и p
для вычисления масштаба Монина-Обухова**

Класс устойчивости	A	B	C	E	F
k_L	-11.4	-26.0	-123.	123.0	26.0
p	0.10	0.17	0.30	0.30	0.17

Таблица 5

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 6

Значения характеристик подстилающих поверхностей

Тип поверхности	ρ_p , кг/м ³	λ_p , Вт/м/с	c_p , Дж/кг/°С
Бетон	2220	1,42	770
Песок	1380	0,35	840
Лед	920	2,23	2080

Таблица 7

Токсические свойства ОБ

Вещество	Молярная масса μ	Плотность газа ρ^g , кг/м ³	Плотность жидк. $\rho^ж$, кг/м ³	Температура кип. $T_{кип}$, °C	Теплоемкость газа C_p , кДж/кг/°C	Коэффициент $C/C_p, \gamma$	Пороговая токсодоза PCt_{50} , мг·мин/л	Смертельная токсодоза LCt_{50} , мг·мин/л	Теплота испарения $\Delta H_{исп}$, кДж/кг	Pr=a+b·ln(C ⁿ ·T), где C – ppm, T – мин.			НКПВ-ВКПВ, %об.	CAS	Теплоемкость жидкости C_p , кДж/кг/°C
										a	b	n			
Аммиак	17,0	0,8	681	-33,4	2,1	1,34	15,0	150	1360	-35,9	1,85	2	16-25	7664417	4,59
Фтористый водород	20,4	0,92	989	19,4	1,42	1,3	4,0	40	1560	-35,87	3,354	1	-	7664393	2,49
Хлористый водород	36,5	1,64	1191	-85,1	0,8	1,41	2,0	20	300	-16,85	2	1	-	7647010	1,75
Бромистый водород	80,9	3,50	1490	-67,8	0,36	1,42	2,4	24	217	-18,32	2	1	-	10035106	0,74
Цианистый водород	27,0	0,9	689	25,6	1,33	1,31	0,2	6	933	-9,56	1	2,4	6-41	74908	2,62
Сероводород	34,1	1,5	964	-60,4	1,04	1,3	1,0	15	310	-31,42	3,008	1,43	4,3-45	7783064	2,01
Сероуглерод	76,1	6,0	1263	46,2	0,67	1,24	30,0	500	352	-46,62	4,2	1	1,3-50	75150	1,00
Формальдегид	30	1,03	815	-19,3	1,32	1,3	0,6	6	273	-12,24	1,3	2	7-73	50000	2,34
Фосген	98,9	3,48	1420	8,2	0,67	1,3	0,55	3,2	158	-19,27	3,686	1	-	75445	1,02
Фтор	38,0	1,7	1512	-188,0	3,32	1,3	0,2	3	727	-10,34	1	2	-	7782414	1,51
Хлор	70,9	3,2	1553	-34,1	0,48	1,3	0,6	6	288	-8,29	0,92	2	-	7782505	0,93
Хлорциан	61,5	2,52	1258	12,6	0,73	1,3	0,75	11	208	-	-	-	-	506774	1,49
Оксись углерода	28	0,97	1000	-191,6	1,04	1,29	10,0	37,5	216	-37,98	3,7	1	12,5-74	630080	2,19
Оксись этилена	44	1,7	882	10,7	1,72	1,3	2,2	25	320	-6,21	1	1	3-100	75218	2,0
Метан	16	0,68	161	-162	1,77	1,42	-	-	514	-	-	-	5-16	74828	4,16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Пропан	44	1,86	509	-42	1,6	1,13	–	–	429	–	–	–	2-9,5	74986	2,58
Бутан	58	2,46	584	-0,5	1,6	1,1	–	–	388,4	–	–	–	1,5-9	106978	2,46
Пентан	72	3,2	612	36	1,6	1,08	-	-	376	-	-	-	1,3-8	109660	2,36
Водород	2	0,09	31,5	-254	14	1,41	–	–	459	–	–	–	4-75	1333740	16,9
Бутадиен	54	2,3	628	-4,5	1,4	1,12	-	-	416	-	-	-	2-11,5	106990	2,1
Бензин	115	4,86	740	60	1	1,07	–	–	370	–	–	–	1,4-7,4	86290815	2,19
Бензол	78	3,5	883	80	1	1,12	60	250	396	-109,8	5,3	2	1,2-8	71432	1,8
Диметиламин	45	1,95	661	7	1,5	1,14	1,0	-	591	-7,340	2	1	2,8-14	124403	3,0
Этилен	28	1,19	212	-104	1,3	1,3	-	-	484	-	-	-	2,8-29	74851	2,79
Метиловый спирт	32	1,36	809	64	1,3	1,24	-	-	120	-	-	-	6-36,5	67561	2,5
Акрилонитрил	53	2,24	813	77	1,2	1,15	-	-	575	-14,97	1,9	1	2,4-17	107131	2,03
Акролеин	56	2,37	844	53	1,1	1,16	0,2	-	538	-9,931	2,049	1	2,8-31	107028	2,15
Пропилен	42	1,78	523	-48	1,5	1,16	-	-	349	-	-	-	2-11	115071	2,57
Винилхлорид	62,5	2,64	900	-13	0,84	1,19	-	-	331	-	-	-	4-26	75014	1,33

Таблица 8

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

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СОСТОЯНИЯ СМЕСИ В ОБЛАКЕ

При проведении термодинамического расчета состояния смеси топлива с воздухом предполагается, что воздух в смеси всегда находится только в газовой фазе. Наличие паров воды в облаке не учитывается. ОВ в облаке может находиться как в газовой, так и в жидкой фазах. Химические реакции между компонентами ОВ и воздуха, образование растворов газовой фазы одного вещества в жидкой фазе (в каплях) другого вещества не учитывается.

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

Термодинамический расчет проводится для каждой рассматриваемой точки пространства.

Исходными данными для проведения термодинамического расчета являются данные об облаке:

общая масса (в газообразной и жидкой фазах) ОВ в облаке (Q_i – для первичного облака и q_i^l – для вторичных облаков);

общая масса облака ($Q_{сум}$ – для первичного облака и $q_{сум}^l$ – для вторичных облаков);

полная внутренняя энергия смеси в облаке ($E_{эффi}$ – для первичного облака и $e_{эффi}^l$ – для вторичных облаков);

Кроме того, необходимы данные об окружающей среде и физические характеристики воздуха и ОВ. Также нужно знать геометрические характеристики облака (эффективные радиус и высота для первичного, эффективные полуширину и высоту для вторичного).

Перечисленные исходные данные получаются в результате решения уравнений (91)-(94), (97)-(103) для первичного облака или (108)-(111), (114)-(121) для вторичных облаков. В результате термодинамического расчета 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 ОВ в жидкой фазе (Q_{ji} – для первичного облака или q_{ji}^l – для вторичных облаков);

новый геометрический размер облака – эффективная высота ($H_{эффi}$ – для первичного облака или $H_{эффi}^l$ – для вторичных облаков).

Далее приводятся формулы для термодинамического 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_{ji} на q_{ji}^l , Q_i на q_i^l , Q_{ji}^0 на q_{ji}^{0l} , Q_{ji} на q_{ji}^{0l} , $Q_{сум}$ на $q_{сум}^l$, $T_{эффi}$ 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 $P = 1$ атм.

Сначала определяется доля жидкой фазы ОВ в облаке:

$$Q_{жсi} = \frac{(Q_i - Q_{жсi}^0)C_v T_i + Q_{жсi}^0 C_p T_i - \Delta H_{кип} Q_{жсi}^0 + (Q_{сумi} - Q_i)C_{возд} (T_{возд} - T_{кип}) - Q_i C_v T_{кип}}{C_p T_{кип} - C_v T_{кип} - \Delta H_{кип}} \quad (135)$$

Если величина $Q_{жсi} > 0$, то это означает, что в облаке находится капельная взвесь массой $Q_{жсi}$, тогда температура в облаке $T_{эффи}$ полагается равной $T_{кип}$, плотность (удельный объем) в облаке определяется по соотношениям:

$$\mu_{эффи} = \frac{Q_{сумi} - Q_{жсi}}{Q_{жсi} \mu_{OB} + (Q_{сумi} - Q_i) \mu_{возд}}, \quad (136)$$

$$\rho_{эффи} = \frac{P_0 \mu_{эффи}}{T_{эффи} R}, \quad (137)$$

$$V_{эффи} = \frac{1}{\rho_{эффи}}, \quad (138)$$

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

Температура в облаке в этом случае определяется из соотношения

$$T_{эффи} = \frac{(Q_i - Q_{жс}^0)C_v T_i + Q_{жс}^0 C_p T_i - \Delta H_{кип} Q_{жс}^0 + (Q_{сумi} - Q_i)C_{возд} T_{возд}}{(Q_{сумi} - Q_i)C_{возд} + Q_i C_v} \quad (139)$$

плотность (удельный объем) в облаке определяется по соотношениям

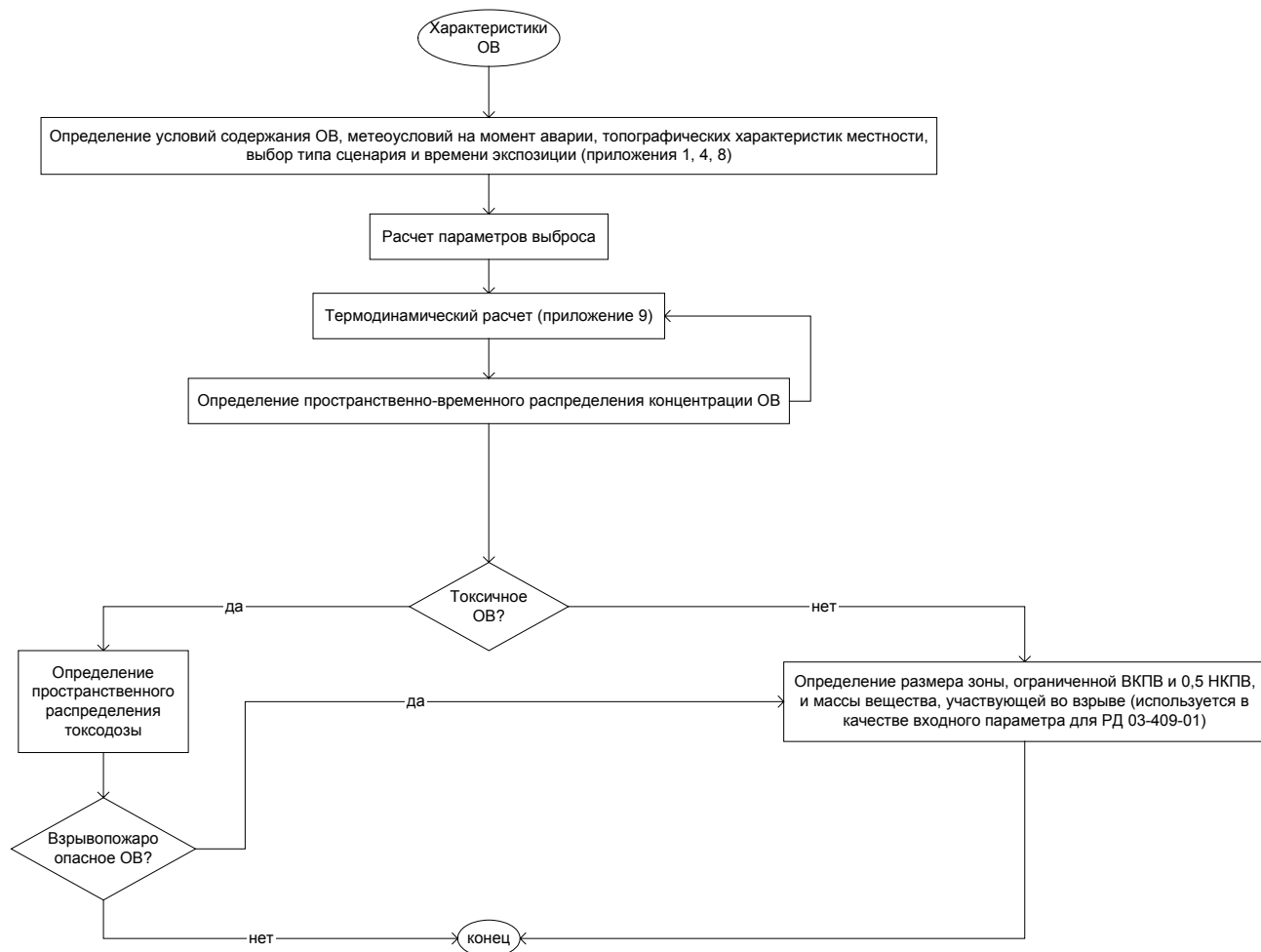
$$\mu_{эффи} = \frac{Q_{сумi}}{Q_i \mu_{OB} + (Q_{сумi} - Q_i) \mu_{возд}} \quad (140)$$

$$\rho_{эффи} = \frac{P_0 \mu_{эффи}}{T_{эффи} R} \quad (141)$$

$$V_{эффи} = \frac{1}{\rho_{эффи}} \quad (142)$$

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.

БЛОК-СХЕМА МЕТОДИКИ



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Методика оценки последствий химических аварий (Методика «ТОКСИ»). М.:НТЦ «Промышленная безопасность», 1993, 19 с.
2. Методика оценки последствий химических аварий (Методика «Токси-2.2», утв. НТЦ "Промышленная безопасность", согл. Госгортехнадзором России) в сборнике «Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах»: Сборник документов. Серия 27. Выпуск 2 / Колл. авт. – 2-е изд., испр. и доп. - М.:ГУП НТЦ «Промышленная безопасность», 2002. – 208 с.
3. The HGSYSTEM technical reference manual (HGSYSTEM version 3.0, Copyright © Shell Internationale Research Maatschappij BV, The Hague, 1988-1994)
4. Methods for the calculation of physical effects CPR 14E (Part 1, 2) “TNO Yellow book”, 3rd edition, TNO, The Netherlands, 1997
5. ГОСТ Р 12.3.047-98 ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
6. Van Ulden, A.P., “A new bulk model for dense gas dispersion: two-dimensional spread in still air, in “Atmospheric dispersion of heavy gases and small particles” (Ooms, G. and Tennekes, H., eds.), pp. 419-440, Springer-Verlag, Berlin, 1984
7. McQuaid, J., “Some experiments on the structure of stably-stratified shear flows”, Tech. Paper p. 21, Safety in Mines Research Establishment, Sheffield, UK, 1976
8. Kranenburg, C., “Wind-induced entrainment in a stably stratified fluid”, J. Fluid Mech. 145, pp. 253-273, 1984
9. ESDU Data Sheet 74031, Characteristics of atmospheric turbulence near the ground – Part II. Single point data for strong winds (neutral atmosphere), Engineering Sciences Data Unit, London, 1974
10. F. Pasquill, Atmospheric Diffusion, Ellis Horwood, Chichester, 2nd edn., 1974.

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

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