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



Серия 27

Декларирование промышленной безопасности и оценка риска

Выпуск 2

МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Сборник документов

2010

gost.e-ecolog.ru

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

Серия 27

Декларирование промышленной
безопасности и оценка риска

Выпуск 2

МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Сборник документов

3-е издание, исправленное и дополненное

Москва
ЗАО НТЦ ПБ
2010

ББК 30н
М54

Ответственные составители-разработчики:
Е.А. Иванов, А.А. Агапов, К.В. Буйко, Б.Е. Гельфанд, Ю.А. Дадонов, А.М. Ильин, Ю.Ф. Карабанов, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров, С.И. Сумской, А.А. Шаталов, А.В. Пчельников

М54 **Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах: Сборник документов. Серия 27. Выпуск 2** / Колл. авт. — 3-е изд., испр. и доп. — М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010. — 208 с.

ISBN 978-5-9687-0206-7.

В настоящий Сборник включены методики оценки опасностей, входящие в состав нормативных документов Госгортехнадзора России, а также исправленные и дополненные методики оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей и оценки последствий химических аварий, разработанные ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность». Методики позволяют оценить последствия аварий со взрывами топливно-воздушных смесей и конденсированных взрывчатых материалов, аварий с выбросом опасных химических веществ. Методики могут быть использованы при разработке деклараций промышленной безопасности опасных производственных объектов и экспертизе промышленной безопасности.

ББК 30н

ISBN 978-5-9687-0206-7



© Оформление. Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010

СОДЕРЖАНИЕ

Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (РД 03-409–01) 4

Общие принципы количественной оценки взрывоопасности технологических блоков (приложение 1 к ПБ 09-540–03 «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств») 35

Методика расчета участвующей во взрыве массы вещества и радиусов зон разрушений (приложение 2 к ПБ 09-540–03 «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств») 45

Порядок определения безопасных расстояний при взрывных работах и хранении взрывчатых материалов (глава VIII ПБ 13-407–01 «Единые правила безопасности при взрывных работах») 49

Методика расчета концентраций аммиака в воздухе и распространения газового облака при авариях на складах жидкого аммиака 81

Методика оценки последствий химических аварий (Методика «Токси». Редакция 2.2) 123

© Оформление ЗАО НТЦ ПБ, 2010

Согласована
Госгортехнадзором России
Утверждена
директором НТЦ
«Промышленная безопасность»
В.И. Сидоровым

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ХИМИЧЕСКИХ АВАРИЙ (Методика «Токси». Редакция 2.2*)

ВВЕДЕНИЕ

Методика оценки последствий химических аварий (далее — методика) предназначена для оценки масштабов поражения при промышленных авариях с выбросом опасных химических веществ (ОХВ).

Методика позволяет определить:

количество поступивших в атмосферу ОХВ при различных сценариях аварии;

пространственно-временное поле концентраций ОХВ в атмосфере;

размеры зон химического заражения, соответствующие различной степени поражения людей, определяемой по ингаляционной токсодозе.

Методика рекомендуется для использования:

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

* В связи с утверждением методики «Токси» (ред. 3.1) рекомендуется использовать ее для оценки последствий выбросов, плотность которых на месте выброса больше плотности воздуха.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

при разработке мероприятий по защите персонала и населения;

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

Из-за сложности расчетов целесообразно реализовать методику в виде компьютерной программы[1].

Настоящая методика разработана Научно-техническим центром по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России (НТЦ «Промышленная безопасность»).

В разработке методики принимали участие д.т.н. А.С. Печеркин, А.А. Шаталов, д.т.н. В.И. Сидоров, к.ф.-м.н. В.Ф. Мартынюк, к.т.н. А.Е. Паталаха, к.ф.-м.н. М.В. Лисанов, к.т.н. А.А. Агапов, С.М. Лыков, И.В. Маклашова, С.И. Сумской, Е.В. Ханин.

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).

Опасное химическое вещество (ОХВ) —прямое или опосредованное воздействие которого на человека может вызвать острые и хронические заболевания людей или их гибель (ГОСТ Р 22.0.05–94).

Авария — разрушение сооружений и(или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемый взрыв и(или) выброс опасных веществ (Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ).

Химическая авария — авария на химически опасном объекте,

[1] Программу «Токси» можно получить в Научно-техническом центре по безопасности в промышленности» (НТЦ «Промышленная безопасность»). gost.e-ecolog.ru

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).

Первичное облако — облако ОХВ, образующееся в результате очень быстрого (за 1–2 минуты) перехода в атмосферу части ОХВ и распространяющееся по ветру от места выброса.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

Вторичное облако (или шлейф) — облако ОХВ, образующееся в результате длительного выброса газа или сжиженного газа, а также в результате испарения ОХВ с подстилающей поверхности или из разгерметизированного оборудования и распространяющееся по ветру от места выброса.

Ингаляционная токсодоза — интеграл по времени концентрации ОХВ в воздухе; при условно постоянной во времени концентрации ОХВ в заданной точке — произведение концентрации ОХВ 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 ОХВ, вызывающая у человека, не оснащенного средствами защиты органов дыхания, начальные признаки поражения организма с определенной вероятностью (табулированное значение для каждого ОХВ).

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

Ликвидация аварии — прекращение поступления в окружающую среду ОХВ 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 ОХВ 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 ОХВ 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 ОХВ к месту выброса ОХВ 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 ОХВ, между двумя ближайшими к месту выброса задвижками (насосами (компрессорами) и задвижками), которые при срабатывании (отключении) блокируют аварийный участок трубопровода.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ И РАЗМЕРНОСТЕЙ

A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2, C_3 — коэффициенты при расчете дисперсии;

C_p — теплоемкость жидкого ОХВ, Дж/кг/°С;

D_1, D_2 — коэффициенты при расчете дисперсии;

D_i — составляющая токсодозы в точке от прохождения первичного облака в i-м сценарии, кг·с/м^3;

$D_{i\,\max}$ — составляющая токсодозы в точке на оси $y = 0$, $z = 0$ от прохождения первичного облака в i-м сценарии, кг·с/м^3;

$D_i^{\max}$ — 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/м^3;

$D_i^{\text{г}}$ — составляющая токсодозы (за соответствующее время экспозиции) от прохождения вторичного облака, образующегося при истечении газообразного ОХВ из оборудования при наличии пролива в i-м сценарии, кг·с/м^3;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

$D_{i\,\max}^{г}$ — составляющая токсодозы (за соответствующее время экспозиции) в точке на оси $y = 0, z = 0$ от прохождения вторичного облака, образующегося при истечении газообразного ОХВ из оборудования при наличии пролива в i-м сценарии, кг·с/м^3;

$D_i^{ги}$ — составляющая токсодозы (за соответствующее время экспозиции) от прохождения вторичного облака, образующегося при истечении газообразного ОХВ из оборудования в отсутствие пролива в i-м сценарии, кг·с/м^3;

$D_{i\,\max}^{ги}$ — составляющая токсодозы (за соответствующее время экспозиции) в точке на оси $y = 0$, $z = 0$ от прохождения вторичного облака, образующегося при истечении газообразного ОХВ из оборудования в отсутствие пролива в i-м сценарии, кг·с/м^3;

$D_i^{с}$ — составляющая токсодозы (за соответствующее время экспозиции) от прохождения вторичного облака, образующегося при испарении ОХВ, оставшегося в оборудовании в i-м сценарии, кг·с/м^3;

$D_{i\,\max}^{с}$ — составляющая токсодозы (за соответствующее время экспозиции) в точке на оси $y = 0$, $z = 0$ от прохождения вторичного облака, образующегося при испарении ОХВ, оставшегося в оборудовании в i-м сценарии, кг·с/м^3;

$D_i^{ж}$ — составляющая токсодозы (за соответствующее время экспозиции) от прохождения вторичного облака, образующегося при истечении жидкого ОХВ из оборудования в i-м сценарии, кг·с/м^3;

$D_{i\,\max}^{ж}$ — составляющая токсодозы (за соответствующее время экспозиции) в точке на оси $y = 0$, $z = 0$ от прохождения вторичного облака, образующегося при истечении жидкого ОХВ из оборудования в i-м сценарии, кг·с/м^3;

$D_i^{и}$ — составляющая токсодозы (за соответствующее время экспозиции) от прохождения вторичного облака, образу-

ющегося при испарении ОХВ из пролива в i-м сценарии, кг·с/м^3;

$D_{i\,max}^{и}$ — составляющая токсодозы (за соответствующее время экспозиции) в точке на оси $y = 0$, $z = 0$ от прохождения вторичного облака, образующегося при испарении ОХВ из пролива в i-м сценарии, кг·с/м^3;

$D_i^{отс.выб}$ — составляющая токсодозы (за соответствующее время экспозиции) от прохождения вторичного облака, образующегося при истечении жидкого ОХВ из разрушенного трубопровода после отсечения аварийного участка в i-м сценарии, кг·с/м^3;

$D_{i\,max}^{отс.выб}$ — составляющая токсодозы (за соответствующее время экспозиции) в точке на оси $y = 0$, $z = 0$ от прохождения вторичного облака, образующегося при истечении жидкого ОХВ из разрушенного трубопровода после отсечения аварийного участка в i-м сценарии, кг·с/м^3;

$D_{тр}$ — диаметр трубопровода, м;

F — площадь поверхности пролива жидкого ОХВ, м^2;

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

$F_{конт}$ — площадь контакта жидкого ОХВ с подстилающей поверхностью при проливе, м^2;

G_0 — вспомогательная величина, используемая при расчете концентраций;

$G_з$ — вспомогательная величина, используемая при расчете рассеяния залпового выброса;

$G_н$ — вспомогательная величина, используемая при расчете рассеяния непрерывного выброса;

$\Delta H_{кип}$ — теплота испарения жидкого ОХВ, Дж/кг;

H — высота столба жидкости ОХВ в оборудовании над уровнем отверстия, через которое происходит истечение, м;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

при истечении из трубопровода, на входе которого стоит насос, принимается равной 0 м;

$H_{тр}^{отс}$ — высота столба жидкого ОХВ в трубопроводе над уровнем отверстия, через которое происходит истечение, м; берется на момент отсечения аварийного участка трубопровода; если количество ОХВ 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;

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, Па; при нормальных условиях принимается равным 10^5 Па;

Q — общая масса ОХВ 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 ОХВ, образующая первичное облако в i-м сценарии, кг;

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

$Q^г$ — масса газообразного ОХВ в оборудовании, кг;

$Q_3^г$ — масса ОХВ, переходящая в первичное облако в виде газа при мгновенном вскипании перегретого ОХВ в сценарии 3, кг;

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

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

$Q_3^ж$ — масса ОХВ, переходящая в первичное облако в виде аэрозоля в сценарии 3, кг;

$Q_{тр^{отс}}^ж$ — масса жидкого ОХВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода на момент отсечения, кг; при истечении из трубопровода в сценарии 4 принимается равной 0 кг, если количество ОХВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса;

$Q_{тр}^ж$ — масса жидкого ОХВ, способного вместиться в отсекаемом участке трубопровода; определяется перемножением объема отсекаемого участка трубопровода на плотность жидкого ОХВ, кг;

$Q_H^ж$ — масса жидкого ОХВ 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;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

$Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}}$ — масса жидкого ОХВ 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 ОХВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса; если отверстие разгерметизации находится выше уровня жидкости, то величина принимается равной 0 кг;

$Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}$ — масса жидкого ОХВ 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 ОХВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса;

$Q_3^{\text{и}}$ — масса ОХВ, 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 — размер первичного облака ОХВ в начальный момент времени в i-м сценарии, м;

$R_i^{\text{г}}$ — начальный размер вторичного облака ОХВ, образующегося при истечении газообразного ОХВ из разрушенного оборудования при наличии пролива в i-м сценарии, м;

$R_i^{\text{ги}}$ — начальный размер вторичного облака ОХВ, образующегося при истечении газообразного ОХВ из разрушенного оборудования в отсутствие пролива в i-м сценарии, м; при отсутствии жидкой фазы (ЖФ) принимается равным 0 м;

$R_i^{\text{с}}$ — начальный размер вторичного облака ОХВ, образующегося при испарении ОХВ из оборудования в i-м сценарии, м;

$R_i^{\text{и}}$ — начальный размер вторичного облака ОХВ, образующегося при испарении ОХВ из пролива в i-м сценарии, м;

R_i^* — начальный размер вторичного облака ОХВ, образующегося при истечении жидкого ОХВ из разрушенного оборудования в i-м сценарии, м; при отсутствии ЖФ принимается равным 0 м;

$R_i^{\text{отс. выб}}$ — начальный размер вторичного облака ОХВ, образующегося при истечении жидкого ОХВ из разрушенного трубопровода после отсечения аварийного участка в сценарии 4, м; при истечении из трубопровода полагается равным 0 м, если количество ОХВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса;

S — площадь отверстий разгерметизации, м^2;

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

$S_{\text{обор}}$ — максимальная площадь поверхности жидкости в оборудовании, м^2;

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

T_i — температура в оборудовании в i-м сценарии, °С;

$T_{\text{возд}}$ — температура воздуха, °С;

$T_{\text{кип}}$ — температура кипения жидкого ОХВ при давлении P_0, °С;

$T_{\text{п}}$ — температура подстилающей поверхности, °С;

U — скорость ветра на высоте 10 м, м/с;

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

c_i — концентрация ОХВ в воздухе (далее — концентрация) при прохождении первичного облака в i-м сценарии, кг/м^3;

$c_{i\max}$ — максимальная концентрация на оси $y = 0$, $z = 0$ при прохождении первичного облака в i-м сценарии (наблюдается в центре облака), кг/м^3;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

$c_i^{\text{г}}$ — концентрация при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении газообразного ОХВ из разрушенного оборудования при наличии пролива в i-м сценарии, кг/м^3;

$c_{i\,\max}^{\text{г}}$ — максимальная концентрация на поверхности земли (на оси $y = 0$, $z = 0$) при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении газообразного ОХВ из разрушенного оборудования при наличии пролива в i-м сценарии, кг/м^3;

$c_i^{\text{ги}}$ — концентрация при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении газообразного ОХВ из разрушенного оборудования в отсутствие пролива в i-м сценарии, кг/м^3;

$c_{i\,\max}^{\text{ги}}$ — максимальная концентрация на поверхности земли (на оси $y = 0$, $z = 0$) при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении газообразного ОХВ из разрушенного оборудования в отсутствие пролива в i-м сценарии, кг/м^3;

$c_i^{\text{е}}$ — концентрация при прохождении вторичного облака, образующегося при испарении ОХВ из емкости в i-м сценарии, кг/м^3;

$c_{i\,\max}^{\text{е}}$ — максимальная концентрация на поверхности земли (на оси $y = 0$, $z = 0$) при прохождении вторичного облака, образующегося при испарении ОХВ из емкости в i-м сценарии, кг/м^3;

$c_i^{\text{и}}$ — концентрация при прохождении вторичного облака, образующегося при испарении ОХВ из пролива в i-м сценарии, кг/м^3;

$c_{i\,\max}^{\text{и}}$ — максимальная концентрация на поверхности земли (на оси $y = 0$, $z = 0$) при прохождении вторичного облака, образующегося при испарении ОХВ из пролива в i-м сценарии, кг/м^3;

$c_i^{ж}$ — концентрация при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении жидкого ОХВ из разрушенного оборудования в i-м сценарии, кг/м^3;

$c_{i\,max}^{ж}$ — максимальная концентрация на поверхности земли (на оси $y = 0$, $z = 0$) при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении жидкого ОХВ из разрушенного оборудования в i-м сценарии, кг/м^3;

$c_i^{отс.\ выб}$ — концентрация при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении жидкого ОХВ из разрушенного трубопровода после отсечения аварийного участка в i-м сценарии, кг/м^3;

$c_{i\,max}^{отс.\ выб}$ — максимальная концентрация на поверхности земли (на оси $y = 0$, $z = 0$) при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении жидкого ОХВ из разрушенного трубопровода после отсечения аварийного участка в i-м сценарии, кг/м^3;

$c_п$ — теплоемкость подстилающей поверхности, Дж/кг/°С;

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

h — высота источника выброса, м;

$p_н$ — давление насыщенного пара ОХВ при температуре воздуха, мм рт. ст.;

$p_н(T_4)$ — давление насыщенных паров ОХВ при температуре T_4, Па;

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

q_4'' — скорость поступления в атмосферу ОХВ в виде аэрозольных включений, образующихся при мгновенном вскипании жидкой фазы в случае истечении жидкого ОХВ из разрушенного оборудования в сценарии 4, кг/с;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

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

$q''_{4\text{отс}}$ — скорость поступления в атмосферу ОХВ в виде аэрозольных включений, образующихся при мгновенном вскипании жидкой фазы в случае истечения жидкого ОХВ из разрушенного трубопровода после отсечения аварийного участка в сценарии 4, кг/с; принимается равной 0 кг/с, если количество ОХВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса;

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

$q^{\text{комп}}$ — расход компрессора, кг/с; необходим при расчете выброса с трубопровода, на входе которого стоит компрессор, в случае, если площадь отверстия разгерметизации трубопровода превосходит 20 % 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;

$q_i^{\text{г}}$ — расход ОХВ во вторичном облаке, образующемся при истечении газообразного ОХВ из разрушенного оборудования при наличии пролива в i-м сценарии, кг/с;

$q_i^{\text{ги}}$ — расход ОХВ во вторичном облаке, образующемся при истечении газообразного ОХВ из разрушенного оборудования в отсутствие пролива в i-м сценарии, кг/с;

$q_i^{\text{с}}$ — расход ОХВ во вторичном облаке, образующемся при испарении ОХВ из оборудования в i-м сценарии, кг/с;

$q_i^{\text{ж}}$ — расход ОХВ во вторичном облаке, образующемся при истечении жидкого ОХВ из разрушенного оборудования в i-м сценарии, кг/с;

$q_i^{\text{и}}$ — расход ОХВ во вторичном облаке, образующемся при испарении ОХВ из пролива в i-м сценарии, кг/с;

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

$q_i^{\text{отс. выб}}$ — расход ОХВ во вторичном облаке, образующемся при истечении жидкого ОХВ из разрушенного трубопровода после отсечения аварийного участка в сценарии 4, кг/с; принимается равным 0 кг/с, если количество ОХВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общего количества выброса;

t — время, с;

$t_{\text{исп}}$ — длительность испарения пролива после окончания истечения жидкого ОХВ, с;

$t_{\text{кип}}$ — время, в течение которого ОХВ поступает в первичное облако из-за интенсивного кипения жидкого ОХВ 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;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

$t_{экс}$ — время экспозиции, с;

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

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

$t'_{отс}$ — составляющая времени формирования первичного облака от времени отсечения аварийного участка трубопровода до окончания формирования первичного облака в сценарии 4, с;

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

$t_i^{г}$ — длительность истечения газообразного ОХВ из разрушенного оборудования при наличии пролива в i-м сценарии, с;

$t_{max}^{г}$ — максимально возможная длительность истечения газообразного ОХВ из разрушенного оборудования в сценарии 4, с;

$t_i^{ги}$ — длительность истечения газообразного ОХВ из разрушенного оборудования в отсутствие пролива в i-м сценарии, с;

$t_i^{с}$ — длительность испарения ОХВ из оборудования в i-м сценарии, с;

$t_i^{ж}$ — длительность истечения жидкого ОХВ из разрушенного оборудования в i-м сценарии, с;

$t_i^{и}$ — длительность испарения ОХВ из пролива в i-м сценарии, с;

$t_4^{отс.\ выб}$ — длительность истечения жидкого ОХВ из разрушенного трубопровода после отсечения аварийного участка в сценарии 4, с; принимается равной 0 с, если количество ОХВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса;

$x_{гр}(t)$ — пространственная граница перехода от рассеяния непрерывного выброса длительностью t к рассеянию залпового выброса, м;

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

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

z — пространственная переменная (координата высоты), м;

z_0 — величина шероховатости поверхности, м;

α — объемная доля газовой фазы в оборудовании;

γ — показатель адиабаты газообразного ОХВ;

$\lambda_{п}$ — коэффициент теплопроводности подстилающей поверхности, Вт/с/м;

μ — молярная масса ОХВ, кг/моль;

π — число, равное 3,1459;

$\rho(p_{н}(T_4), T_4)$ — плотность газообразного ОХВ при температуре T_4 и давлении $p_{н}(T_4)$, кг/м^3;

ρ_i — плотность газовой фазы ОХВ в оборудовании в i-м сценарии, кг/м^3;

$\rho_{ж}$ — плотность жидкого ОХВ, кг/м^3;

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

$\rho_{п}$ — плотность материала подстилающей поверхности, кг/м^3;

$\rho_i^{выб}$ — плотность ОХВ в первичном облаке в начальный момент времени в i-м сценарии, кг/м^3;

$\rho_i^{г}$ — плотность ОХВ в начальный момент времени во вторичном облаке, образующемся при истечении газообразного ОХВ из разрушенного оборудования при наличии пролива в i-м сценарии, кг/м^3;

$\rho_i^{ги}$ — плотность ОХВ в начальный момент времени во вторичном облаке, образующемся при истечении газообразного ОХВ из разрушенного оборудования в отсутствие пролива в i-м сценарии, кг/м^3;

ρ_i^{e} — плотность ОХВ в начальный момент времени во вторичном облаке, образующемся при испарении ОХВ из оборудования в i-м сценарии, кг/м^3;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

$\rho_i^{ж}$ — плотность ОХВ в начальный момент времени во вторичном облаке, образующемся при истечении жидкого ОХВ из разрушенного оборудования в i-м сценарии, кг/м^3;

$\rho_i^{и}$ — плотность ОХВ в начальный момент времени во вторичном облаке, образующемся при испарении ОХВ из пролива в i-м сценарии, кг/м^3;

$\rho_i^{отс.\ выб}$ — плотность ОХВ в начальный момент времени во вторичном облаке, образующемся при истечении жидкого ОХВ из разрушенного трубопровода после отсечения аварийного участка в сценарии 4, кг/м^3; принимается равной 0 кг/м^3, если количество ОХВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода составляет менее 20 % общей массы выброса;

σ_x — дисперсия вдоль оси x, м;

σ_y — дисперсия вдоль оси y, м;

σ_z — дисперсия вдоль оси z, м.

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 = sign(5).

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

min sum(α_1, α_2, α_3,..., α_n) — разность величины α_1 и суммы α_2, α_3,..., α_n, если эта разность величина положительная, и 0 в противном случае;

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

например,

$$\operatorname{minsum}(2, 1, 3, 4) = \frac{2 - (1+3+4) + |2 - (1+3+4)|}{2} = \frac{-6+6}{2} = 0$$

или

$$\operatorname{minsum}(9, 1, 3, 4) = \frac{9 - (1+3+4) + |9 - (1+3+4)|}{2} = \frac{1+1}{2} = 1.$$

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящая методика предназначена для количественной оценки последствий химических аварий на опасном производственном объекте с выбросом ОХВ в атмосферу.

1.2. Методика распространяется на случаи выброса ОХВ 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 ОХВ), либо из газа (воздух и ОХВ) и жидких аэрозольных включений (капли ОХВ и сконденсировавшиеся пары воды).

1.3. ОХВ, рассматриваемые в настоящей методике, при нормальных условиях находятся либо в газообразном, либо в жидком состоянии. В технологическом оборудовании ОХВ могут находиться как в газообразном, так и в жидком состоянии. В последнем случае ОХВ может быть сжижено путем повышения давления или понижения температуры.

1.4. В зависимости от агрегатного состояния ОХВ в оборудовании и характера разрушения оборудования методика позволяет провести расчеты для следующих сценариев аварий.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

Для ОХВ, находящегося в технологическом оборудовании в газообразном состоянии:

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

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

Для ОХВ, находящегося в технологическом оборудовании в жидком состоянии:

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

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

По сценариям 1 и 3 ОХВ мгновенно поступает в окружающую среду; по сценариям 2 и 4 ОХВ 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 все разнообразие возможных ситуаций, поэтому при выборе сценария для случаев, не перечисленных выше, следует руководствоваться соображениями физического подобия процессов.

1.5. При заблаговременном прогнозировании масштабов заражения в качестве исходных данных рекомендуется принимать:

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

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

метеорологические условия — класс устойчивости атмосферы — инверсия, скорость ветра — 1 м/с.

1.6. Основными элементами расчета по настоящей методике являются:

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

определение пространственно-временного распределения концентрации ОХВ;

определение пространственного распределения токсодозы;

оценка поражающего воздействия ОХВ, включая расчет зон химического заражения.

1.7. Исходными данными для расчета являются[2]:

физико-химические и токсикологические характеристики ОХВ;

количество и технологические параметры ОХВ;

параметры оборудования, в котором обращается ОХВ;

вероятный сценарий выброса ОХВ в атмосферу, для выброса жидкой фазы характер разлива на подстилающей поверхности и ее характеристики;

топографические характеристики территории вблизи аварийного объекта;

метеоусловия на момент аварии;

время экспозиции.

1.8. Границы зон химического заражения ОХВ рассчитываются по смертельной и пороговой токсодозам при ингаляционном воздействии на организм человека.

1.9. В методике приняты следующие допущения:

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

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

истечение ОХВ и его испарение происходят с постоянной скоростью, соответствующей максимальной скорости истечения (испарения) (в приложении 5 указан способ, позволяющий учесть изменение скорости истечения (испарения));

---

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

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

в образовавшемся сразу после выброса облаке находится только ОХВ без подмешивания воздуха;

разлив жидкой фазы происходит на твердой, не впитывающей поверхности;

для случаев отсутствия обваловки высота слоя разлившегося ОХВ принимается равной 0,05 м;

при расчете рассеяния ОХВ в атмосфере используется гауссова модель диффузии пассивной примеси; осаждение на подстилающую поверхность выброса ОХВ и его химические превращения при рассеянии не учитываются;

метеоусловия остаются неизменными в течение времени экспозиции, а характеристики атмосферы — по высоте постоянны.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫБРОСА ОХВ

2.1. В зависимости от агрегатного состояния ОХВ 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 2. Перечень необходимых исходных данных приведен в приложении 3.

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

$$Q_i, q_i^{ж}, q_i^{г}, q_i^{ги}, q_i^{и}, q_i^{е}, t_i^{ж}, t_i^{г}, t_i^{ги}, t_i^{и}, t_i^{е}, \rho_i^{выб}, \rho_i^{ж}, \rho_i^{г}, \rho_i^{ги}, \rho_i^{и}, \rho_i^{е},$$

$$R_i, R_i^{ж}, R_i^{г}, R_i^{ги}, R_i^{и}, R_i^{е}.$$

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

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

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

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

если известна масса ОХВ в оборудовании Q, или

$$Q_1 = \frac{\mu}{R}\frac{V_1 P_1}{T_1 + 273{,}15}, \tag{2}$$

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

$$q_1^{\text{ж}} = q_1^{\text{г}} = q_1^{\text{ги}} = q_1^{\text{и}} = q_1^{\text{с}} = q_1^{\text{отс. выб}} = 0{,}0, \tag{3}$$

$$t_1^{\text{ж}} = t_1^{\text{г}} = t_1^{\text{ги}} = t_1^{\text{и}} = t_1^{\text{с}} = t_1^{\text{отс. выб}} = 0{,}0, \tag{4}$$

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

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

$$\rho_1^{\text{ж}} = \rho_1^{\text{г}} = \rho_1^{\text{ги}} = \rho_1^{\text{и}} = \rho_1^{\text{с}} = \rho_1^{\text{отс. выб}} = 0{,}0^3, \tag{6}$$

$$R_1 = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}\frac{Q_1}{\rho_1^{\text{выб}}}}, \tag{7}$$

$$R_1^{\text{ж}} = R_1^{\text{г}} = R_1^{\text{ги}} = R_1^{\text{и}} = R_1^{\text{с}} = R_1^{\text{отс. выб}} = 0{,}0. \tag{8}$$

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

$$Q_2 = 0{,}0, \tag{9}$$

[3] Данные и нижеследующие аналогичные обнуления не имеют физического смысла и необходимы для формализации подстановок в формулах.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

$$q_2^{\text{ги}} = 0{,}8S\min\left\{\sqrt{2\frac{\gamma}{\gamma-1}P_2\rho_2\left(\left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{\frac{2}{\gamma}}-\left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}\right)},\ \sqrt{P_2\rho_2\gamma\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}\right\}. \qquad (10)$$

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 $q^{\text{комп}}$.

$$q_2^{\text{ж}} = q_2^{\text{и}} = q_2^{\text{г}} = q_2^{\text{с}} = q_2^{\text{отс. выб}} = 0{,}0, \qquad (11)$$

$$t_2^{\text{ги}} = \min\left(\left(Q+Q_{\text{тр}}\right)/q_2^{\text{ги}},\ t_{\text{отс}}+Q_{\text{тр}}/q_2^{\text{ги}},\ t_{\text{ликвид}}\right), \qquad (12)$$

если известна масса ОХВ в оборудовании Q, и

$$t_2^{\text{ги}} = \min\left(\frac{\mu}{R}\frac{V_2P_2}{(T_2+273{,}15)q_2^{\text{ги}}}+Q_{\text{тр}}/q_2^{\text{ги}},\ t_{\text{отс}}+Q_{\text{тр}}/q_2^{\text{ги}},\ t_{\text{ликвид}}\right), \qquad (13)$$

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

$$t_2^{\text{ж}} = t_2^{\text{и}} = t_2^{\text{г}} = t_2^{\text{с}} = t_2^{\text{отс. выб}} = 0{,}0, \qquad (14)$$

$$\rho_2^{\text{ги}} = \rho_2\left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}}, \qquad (15)$$

где $\rho_2 = \dfrac{\mu}{R}\dfrac{P_2}{T_2 + 273{,}15}$ — плотность газообразного ОХВ в оборудовании.

$$\rho_2^{ж} = \rho_2^{выб} = \rho_2^{и} = \rho_2^{г} = \rho_2^{с} = \rho_2^{отс.\ выб} = 0{,}0, \qquad (16)$$

$$R_2^{ги} = \sqrt{\frac{1}{\pi}\frac{q_2^{ги}}{\rho_2^{ги} U}}, \qquad (17)$$

$$R_2^{ж} = R_2 = R_2^{и} = R_2^{г} = R_2^{с} = R_2^{отс.\ выб} = 0{,}0. \qquad (18)$$

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

$$Q_3 = Q_3^{г} + Q_3^{ж} + Q_3^{и} + Q^{г}, \qquad (19)$$

$$Q^{г} = \alpha \frac{\mu}{R}\frac{V_3 P_3}{T_3 + 273{,}15}, \qquad (20)$$

где α — объемная доля оборудования, заполненная газовой фазой (формула (20) применяется, если заранее неизвестна величина $Q^{г}$).

$$Q_3^{г} = Q^{ж}\left(1 - \exp\left(-\frac{C_p\left(T_3 - T_{кип} + \left|T_3 - T_{кип}\right|\right)}{2\Delta H_{кип}}\right)\right), \qquad (21)$$

$$Q_3^{ж} = \min\left\{Q_3^{г},\ Q^{ж} - Q_3^{г}\right\}, \qquad (22)$$

$$Q_3^{и} = \min\left\{\frac{T_п - T_{кип} + \left|T_п - T_{кип}\right|}{\Delta H_{кип}}\sqrt{\frac{\lambda_п c_п \rho_п}{\pi}}\frac{F_{конт}^2}{F}\sqrt{t_{кип}},\ Q^{ж} - Q_3^{г} - Q_3^{ж}\right\}, \qquad (23)$$

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

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

$$F = \frac{Q^{ж} - Q_3^{г} - Q_3^{ж}}{0{,}05\rho_{ж}}; \qquad (24)$$

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

$T_п$, $\lambda_п$, $c_п$, $\rho_п$ — соответственно температура, теплопроводность, теплоемкость и плотность подстилающей поверхности;

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

$$\sqrt{t_{кип}} = \min\left\{\frac{T_п - T_{кип} + |T_п - T_{кип}|}{2\Delta H_{кип}}\sqrt{\frac{\lambda_п c_п \rho_п}{\pi}} \times \right.$$

$$\left. \times \frac{1}{\sqrt{\mu}10^{-6}(5{,}83 + 4{,}1U)p_н}\frac{F_{конт}}{F}, \sqrt{\frac{2\sqrt{F}}{U}}\right\}, \qquad (25)$$

$p_н$ — давление насыщенного пара;

$$p_н = 760\exp\left(\Delta H_{кип}\mu\left(\frac{1}{T_{кип} + 273{,}15} - \frac{1}{T_{возд} + 273{,}15}\right)\Big/R\right), \qquad (26)$$

$$q_3^{и} = F\sqrt{\mu}10^{-6}(5{,}83 + 4{,}1U)p_н, \qquad (27)$$

$$q_3^{ж} = q_3^{г} = q_3^{ги} = q_3^{е} = q_3^{отс.\ выб} = 0{,}0, \qquad (28)$$

$$t_3^{и} = (Q - Q_3)/q_3^{и}, \qquad (29)$$

$$t_3^{ж} = t_3^{г} = t_3^{ги} = t_3^{е} = t_3^{отс.\ выб} = 0{,}0, \qquad (30)$$

$$\rho_3^{\text{выб}} = \begin{cases} \rho_{\text{кип}} \dfrac{Q_3}{Q_3^{\text{г}} + Q_3^{\text{и}} + Q^{\text{г}}}, & \text{если } T_{\text{п}} \le T_{\text{кип}} \\ \dfrac{\mu}{R} \dfrac{P_3}{T_3 + 273{,}15} \left(\dfrac{P_0}{P_3} \right)^{\frac{1}{\gamma}} & \text{в остальных ситуациях,} \end{cases} \quad T_{\text{п}} > T_{\text{кип}} \tag{31}$$

$$\rho_3^{\text{и}} = \rho_{\text{кип}} = \rho(T_{\text{кип}}, P_0) = \frac{\mu}{R} \frac{P_0}{T_{\text{кип}} + 273{,}15}, \tag{32}$$

$$\rho_3^{\text{ж}} = \rho_3^{\text{г}} = \rho_3^{\text{с}} = \rho_3^{\text{ги}} = \rho_3^{\text{отс. выб}} = 0{,}0, \tag{33}$$

$$R_3 = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \frac{Q_3}{\rho_{\text{выб}}}}, \tag{34}$$

$$R_3^{\text{и}} = 0{,}5\sqrt{F}, \tag{35}$$

$$R_3^{\text{ж}} = R_3^{\text{г}} = R_3^{\text{с}} = R_3^{\text{ги}} = R_3^{\text{отс. выб}} = 0{,}0. \tag{36}$$

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

$$q_{\text{выб}} = 0{,}6S \operatorname{sign}\left(Q_H^{\text{ж}}\right) \sqrt{2Hg\rho_{\text{ж}}^2 + 2\rho_{\text{ж}}\left(P_4 - p_{\text{н}}(T_4)\right) + \frac{1}{K} \frac{\Delta H_{\text{кип}}^2 \rho^2\left(T_4, p_{\text{н}}(T_4)\right)}{C_p(T_{\text{кип}} + 273{,}15)}}, \tag{37}$$

где $p_{\text{н}}(T_4) = P_0 \exp\left(\Delta H_{\text{кип}} \mu \left(\dfrac{1}{T_{\text{кип}} + 273{,}15} - \dfrac{1}{T_4 + 273{,}15} \right) \Big/ R \right)$ — давление насыщенных паров ОХВ при температуре T_4;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

$\rho(T_4, p_н(T_4)) = \dfrac{\mu}{R}\dfrac{p_н(T_4)}{T_4 + 273{,}15}$ — плотность газообразного ОХВ при температуре T_4 и давлении $p_н(T_4)$;

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

$$K = \begin{cases} \dfrac{\Delta H_{кип}^2 \rho^2(T_4, p_н(T_4))}{2\rho_ж (p_н(T_4) - P_0) C_p (T_{кип} + 273{,}15)} + \dfrac{L}{30 D_{тр}}, & 0 \le L \le 30 D_{тр} \\ 1{,}18, \quad 30 D_{тр} < L \le 50 D_{тр} \\ 1{,}33, \quad 50 D_{тр} < L \le 100 D_{тр} \\ 1{,}54, \quad 100 D_{тр} < L \le 200 D_{тр} \\ 1{,}82, \quad 200 D_{тр} < L \le 400 D_{тр} \\ 2{,}1, \quad 400 D_{тр} < L. \end{cases} \qquad (38)$$

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

В остальных случаях расход определяется по формуле

$$q_{выб} = \operatorname{sign}\left(Q_H^{ж}\right) 0{,}6 S \rho_ж \sqrt{2Hg + 2\frac{P_4 - P_0}{\rho_ж}}. \qquad (39)$$

В случае если истечение происходит через трубопровод и количество ОХВ 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

$$q_{\text{выб}}^{\text{отс}} = \begin{cases} 0{,}6S\rho_{\text{ж}}\,\text{sign}\left(Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}}\right)\sqrt{2H_{\text{тр}}^{\text{отс}}g}, & T_4 < T_{\text{кип}}, \\ 0{,}6S\rho_{\text{ж}}\,\text{sign}\left(Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}}\right)\sqrt{2H_{\text{тр}}^{\text{отс}}g + 2\dfrac{p_{\text{н}}(T_4) - P_0}{\rho_{\text{ж}}}}, & T_4 \geq T_{\text{кип}}, \end{cases} \quad (40)$$

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

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

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

$$\left. + \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{кип}} + |T_{\text{п}} - T_{\text{кип}}|}{\Delta H_{\text{кип}}}\sqrt{\frac{\lambda_{\text{п}}c_{\text{п}}\rho_{\text{п}}}{\pi}}\frac{F_{\text{конт}}^2}{F'}\sqrt{t_{\text{кип}}}\right\}, \quad (41)$$

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

$$\left. \times \frac{1}{\sqrt{\mu}\cdot 10^{-6}(5{,}83 + 4{,}1U)p_{\text{н}}}, \sqrt{\frac{2\sqrt{F'}}{U}}\right\}, \quad (42)$$

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

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

$$\frac{+\left(q_{\text{выб}}^{\text{отс}} - q_{4_{\text{отс}}}' - q_{4_{\text{отс}}}''\right)\min\left\{t_{\text{отс}}', \dfrac{Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{\text{ж}}}{q_{\text{выб}}^{\text{отс}}}\right\}}{0{,}05\rho_{\text{ж}}}, \quad (43)$$

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

$$t' = \min\left\{t_{\text{кип}},\ t_{\text{отс}},\ t_{\text{ликвид}},\ t'_{\text{исп}}\right\}, \qquad (44)$$

$$t'_{\text{отс}} = \min\left\{t_{\text{кип}} - t',\ t_{\text{ликвид}} - t',\ t'_{\text{исп}} - t',\ t''_{\text{исп}} - t'\right\}, \qquad (45)$$

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

$$t'_{\text{исп}} = \frac{\left(q_{\text{выб}} - q'_4 - q''_4\right)\dfrac{Q^{\text{ж}}_{H} + Q^{\text{ж}}_{H^{\text{тр}}}}{q_{\text{выб}}}}{F\sqrt{\mu}\,10^{-6}\left(5{,}83 + 4{,}1U\right)p_{\text{н}}}$$ при проливе в обваловку

и

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

$$t''_{\text{исп}} = \frac{\left(q_{\text{выб}} - q'_4 - q''_4\right)t_{\text{отс}} + \left(q^{\text{отс}}_{\text{выб}} - q'_{4\text{отс}} - q''_{4\text{отс}}\right)\dfrac{Q^{\text{ж}}_{H^{\text{отс. тр}}}}{q^{\text{отс}}_{\text{выб}}}}{F\sqrt{\mu}\,10^{-6}\left(5{,}83 + 4{,}1U\right)p_{\text{н}}}$$ при проливе в обваловку

и

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

$$q^{\text{ж}}_4 = \min\left\{q_{\text{выб}},\ q'_4 + q''_4 + F\sqrt{\mu}\,10^{-6}\left(5{,}83 + 4{,}1U\right)p_{\text{н}}\right\}, \qquad (46)$$

$$q'_4 = q_{\text{выб}}\left(1 - \exp\left(-\frac{C_p\left(T_4 - T_{\text{кип}} + \left|T_4 - T_{\text{кип}}\right|\right)}{2\Delta H_{\text{кип}}}\right)\right), \qquad (47)$$

$$q_4'' = \min\{q_4',\ q_{\text{выб}} - q_4'\}, \tag{48}$$

$$q_4^{\text{отс. выб}} = \min\left\{q_{\text{выб}}^{\text{отс}},\ q'_{4\text{отс}} + q''_{4\text{отс}} + F\sqrt{\mu}10^{-6}(5{,}83+4{,}1U)\,p_{\text{н}}\right\}, \tag{49}$$

$$q'_{4\text{отс}} = q_{\text{выб}}^{\text{отс}}\left(1-\exp\left(-\frac{C_p\left(T_4 - T_{\text{кип}} + |T_4 - T_{\text{кип}}|\right)}{2\Delta H_{\text{кип}}}\right)\right), \tag{50}$$

$$q''_{4\text{отс}} = \min\left\{q'_{4\text{отс}},\ q_{\text{выб}}^{\text{отс}} - q'_{4\text{отс}}\right\}, \tag{51}$$

$$q_4' = \begin{cases} F\sqrt{\mu}10^{-6}(5{,}83+4{,}1U)\,p_{\text{н}} + 0{,}8S\times \\ \times\min\left\{\sqrt{2\frac{\gamma}{\gamma-1}P_4\rho_4\left(\left(\frac{P_0}{P_4}\right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P_0}{P_4}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}\right)},\ \sqrt{P_4\rho_4\gamma\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}\right\}, \\ \text{либо } t' + t'_{\text{отс}} + t_4^{*} + t_4^{\text{отс. выб}} < t_{\text{отс}}, \text{ либо } t' + t'_{\text{отс}} + t_4^{*} + t_4^{\text{отс. выб}} > t_{\text{отс}} \\ \text{и } Q_{H^{\text{тр}}}^{*} > Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{*} \\ F\sqrt{\mu}10^{-6}(5{,}83+4{,}1U)\,p_{\text{н}} + 0{,}8S\times \\ \times\min\left\{\sqrt{2\frac{\gamma}{\gamma-1}p_{\text{н}}(T_4)\rho_{\text{н}}\left(p_{\text{н}}(T_4),\ T_{\text{кип}}\right)\left(\left(\frac{P_0}{p_{\text{н}}(T_4)}\right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P_0}{p_{\text{н}}(T_4)}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}\right)},\right. \\ \left.\sqrt{p_{\text{н}}(T_4)\rho_{\text{н}}\left(p_{\text{н}}(T_4),\ T_{\text{кип}}\right)\gamma\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}\right\}, \\ t' + t'_{\text{отс}} + t_4^{*} + t_4^{\text{отс. выб}} > t_{\text{отс}},\ Q_{H^{\text{тр}}}^{*} = Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{*},\ T_4 > T_{\text{кип}} \\ 0,\ t' + t'_{\text{отс}} + t_4^{*} + t_4^{\text{отс. выб}} > t_{\text{отс}},\ Q_{H^{\text{тр}}}^{*} = Q_{H^{\text{отс. тр}}}^{*},\ T_4 \le T_{\text{кип}}, \end{cases} \tag{52}$$

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

$$
q_4^{\text{ги}} = \begin{cases}
S_{\max}\sqrt{\mu}\,10^{-6}\cdot 5{,}83 p_{\text{н}} + 0{,}8S\times \\
\times\min\left\{\sqrt{2\dfrac{\gamma}{\gamma-1}P_4\rho_4\left(\left(\dfrac{P_0}{P_4}\right)^{\frac{2}{\gamma}}-\left(\dfrac{P_0}{P_4}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}\right)},\ \sqrt{P_4\rho_4\gamma\left(\dfrac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}\right\}, \\
\text{либо } t'_{\text{отс}} + t_4^{\text{ж}} + t_4^{\text{отс. выб}} < t_{\text{отс}} \qquad t' + t'_{\text{отс}} + t_4^{\text{ж}} + t_4^{\text{отс. выб}} > t_{\text{отс}} \\
\text{и } Q_H^{\text{ж}_{\text{пр}}} > Q_H^{\text{ж}_{\text{отс. пр}}} \\
S_{\max}\sqrt{\mu}\,10^{-6}\cdot 5{,}83 p_{\text{н}} + 0{,}8S\times \\
\times\min\left\{\sqrt{2\dfrac{\gamma}{\gamma-1}p_{\text{н}}(T_4)\rho_{\text{н}}\left(p_{\text{н}}(T_4),\ T_{\text{кип}}\right)\left(\left(\dfrac{P_0}{p_{\text{н}}(T_4)}\right)^{\frac{2}{\gamma}}-\left(\dfrac{P_0}{p_{\text{н}}(T_4)}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}\right)},\right. \\
\left.\sqrt{p_{\text{н}}(T_4)\rho_{\text{н}}\left(p_{\text{н}}(T_4),\ T_{\text{кип}}\right)\gamma\left(\dfrac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}\right\}, \\
t' + t'_{\text{отс}} + t_4^{\text{ж}} + t_4^{\text{отс. выб}} > t_{\text{отс}},\ \text{и } Q_H^{\text{ж}_{\text{пр}}} = Q_H^{\text{ж}_{\text{отс. пр}}},\ \text{и } T_4 \ge T_{\text{кип}} \\
0,\ t' + t'_{\text{отс}} + t_4^{\text{ж}} + t_4^{\text{отс. выб}} > t_{\text{отс}},\ \text{и } Q_H^{\text{ж}_{\text{пр}}} = Q_H^{\text{ж}_{\text{отс. пр}}},\ \text{и } T_4 = T_{\text{кип}},
\end{cases} \qquad (53)
$$

$$
q_4'' = F\sqrt{\mu}\,10^{-6}(5{,}83+4{,}1U)p_{\text{н}} + 5{,}83S_{\max}\sqrt{\mu}\,10^{-6}p_{\text{н}}, \qquad (54)
$$

$$
q_4^{\text{с}} = 5{,}83S_{\max}\sqrt{\mu}\,10^{-6}p_{\text{н}}, \qquad (55)
$$

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

$$S_{max} = \min\left\{S_{обор},\ \rho_4^e US\Big/\left(\sqrt{\mu}\cdot 5{,}83\cdot 10^{-6}\,p_н\right)\right\}, \qquad (56)$$

$$t_4^ж = \min\left\{\frac{Q_H^ж + Q_{H^{тр}}^ж}{q_{выб}} - t',\ t_{отс} - t'\right\}, \qquad (57)$$

$$t_4^{отс.\ выб} = \min\left\{t_{ликвид} - t'_{отс} - t_4^ж - t',\ \frac{Q_{H^{отс.\ тр}}^ж}{q_{выб}^{отс}} - t'_{отс}\right\}, \qquad (58)$$

$$t_{исп} = \frac{q_{выб}\left(t_4^ж + \min\left\{t',\ \dfrac{Q_H^ж + Q_{H^{тр}}^ж}{q_{выб}}\right\}\right)}{F\sqrt{\mu}10^{-6}(5{,}83+4{,}1U)\,p_н} + \frac{q_{выб}^{отс}\left(t_4^{отс.\ выб} + \min\left\{t'_{отс},\ \dfrac{Q_{H^{отс.\ тр}}^ж}{q_{выб}^{отс}}\right\}\right) - Q_4 + q_4^ж t_4^ж + q_4^{отс.\ выб} t_4^{отс.\ выб}}{F\sqrt{\mu}10^{-6}(5{,}83+4{,}1U)\,p_н}, \qquad (59)$$

$t_{исп}$ — длительность испарения пролива после окончания истечения жидкого ОХВ.

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

$$F = \frac{q_{выб}\left(t_4^ж + \min\left\{t',\ \dfrac{Q_H^ж + Q_{H^{тр}}^ж}{q_{выб}}\right\}\right)}{0{,}05\rho_ж} + \frac{q_{выб}^{отс}\left(t_4^{отс.\ выб} + \min\left\{t'_{отс},\ \dfrac{Q_{H^{отс.\ тр}}^ж}{q_{выб}^{отс}}\right\}\right) - Q_4 + q_4^ж t_4^ж + q_4^{отс.\ выб} t_4^{отс.\ выб}}{0{,}05\rho_ж}, \qquad (60)$$

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

$$t_4^{\Gamma} = \min\left\{\begin{array}{l}\left\{\begin{array}{l} t_{\max}^{\text{I}} \text{ при } t_{\text{отс}} - t_4^{*} - t_4^{\text{отс. выб}} - t'_{\text{отс}} - t' > t_{\max}^{\text{I}} \\ \dfrac{\left(Q_{\text{отс}}^{\text{I}} + \min\left\{Q_{\text{тр}}^{*\text{отс}},\ \left(Q_{\text{тр}}^{*} - Q_{H^{\text{тр}}}^{*}\right)\right\}\right)\left(1 - \exp\left(-\dfrac{C_p\left(T_4 - T_{\text{кип}} + \left|T_4 - T_{\text{кип}}\right|\right)}{2\Delta H_{\text{кип}}}\right)\right)}{q_4^{\text{I}} - F\sqrt{\mu}\cdot 10^{-6}\left(5{,}83 + 4{,}1U\right)p_{\text{н}}} + \\ + t_{\text{отс}} - t_4^{*} - t_4^{\text{отс. выб}} - t'_{\text{отс}} - t', \\ \text{при } t_{\text{отс}} - t_4^{*} - t_4^{\text{отс. выб}} - t'_{\text{отс}} - t' \le t_{\max}^{\Gamma} \end{array}\right. \\ t_{\text{отс}} > t_4^{*} + t_4^{\text{отс. выб}} + t'_{\text{отс}} + t' \\ \dfrac{\left(Q_{\text{отс}}^{\text{I}} + \left(Q_{\text{тр}}^{*} - Q_{H^{\text{тр}}}^{*}\right)\right)\left(1 - \exp\left(-\dfrac{C_p\left(T_4 - T_{\text{кип}} + \left|T_4 - T_{\text{кип}}\right|\right)}{2\Delta H_{\text{кип}}}\right)\right)}{q_4^{\text{I}} - F\sqrt{\mu}\cdot 10^{\ 6}\left(5{,}83 + 4{,}1U\right)p_{\text{н}}}, \\ t_{\text{отс}} \le t_4^{*} + t_4^{\text{отс. выб}} + t'_{\text{отс}} + t' \\ \min\text{sum}\left(t_{\text{ликвид}},\ t',\ t'_{\text{отс}},\ t_4^{\text{отс. выб}},\ t_4^{*}\right), \\ t_{\text{исп}} \end{array}\right. \quad (61)$$

$$t_{\max}^{\Gamma} = \frac{\left(Q^{\Gamma} + \left(Q^{*} + Q_{\text{тр}}^{*} - Q_{H}^{*} - Q_{H^{\text{тр}}}^{*}\right)\right)\left(1 - \exp\left(-\dfrac{C_p\left(T_4 - T_{\text{кип}} + \left|T_4 - T_{\text{кип}}\right|\right)}{2\Delta H_{\text{кип}}}\right)\right)}{q_4^{\Gamma} - F\sqrt{\mu}\cdot 10^{-6}\left(5{,}83 + 4{,}1U\right)p_{\text{н}}}, \quad (62)$$

$$t_4^{\text{ги}} = \min\left\{\begin{array}{l}\left\{\begin{array}{l} t_{\max}^{\text{ги}} \quad \text{при } t_{\text{отс}} - t_4^{\text{ж}} - t_4^{\text{отс. выб}} - t'_{\text{отс}} - t' - t_4^{\text{г}} > t_{\max}^{\text{ги}} \\ \dfrac{\left(Q_{\text{отс}}^{\text{г}} + \min\left\{Q_{\text{тр}^{\text{отс}}}^{\text{ж}},\ \left(Q_{\text{тр}}^{\text{ж}} - Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}\right)\right\}\left(1 - \exp\left(-\dfrac{C_p\left(T_4 - T_{\text{кип}} + \left|T_4 - T_{\text{кип}}\right|\right)}{2\Delta H_{\text{кип}}}\right)\right)\right)}{q_4^{\text{г}} - F\sqrt{\mu}\cdot 10^{-6}\left(5{,}83 + 4{,}1U\right)p_{\text{н}}} + \\ + t_4^{\text{ж}} - t_4^{\text{отс. выб}} - t'_{\text{отс}} - t' - t_4^{\text{г}}, \\ \text{при } t_{\text{отс}} - t_4^{\text{ж}} - t_4^{\text{отс. выб}} - t'_{\text{отс}} - t' - t_4^{\text{г}} \le t_{\max}^{\text{ги}} \\ t_{\text{отс}} > t_4^{\text{ж}} + t_4^{\text{отс. выб}} + t'_{\text{отс}} + t' + t_4^{\text{г}} \end{array}\right. \\ \left\{\begin{array}{l} \dfrac{\left(Q_{\text{отс}}^{\text{г}} + \left(Q_{\text{тр}}^{\text{ж}} - Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}}\right)\left(1 - \exp\left(-\dfrac{C_p\left(T_4 - T_{\text{кип}} + \left|T_4 - T_{\text{кип}}\right|\right)}{2\Delta H_{\text{кип}}}\right)\right)\right)}{q_4^{\text{г}} - F\sqrt{\mu}\cdot 10^{-6}\left(5{,}83 + 4{,}1U\right)p_{\text{н}}} - t_4^{\text{г}}, \\ t_{\text{отс}} \le t_4^{\text{ж}} + t_4^{\text{отс. выб}} + t'_{\text{отс}} + t' + t_4^{\text{г}} \end{array}\right. \\ \min\text{sum}\left(t_{\text{ликвид}},\ t',\ t'_{\text{отс}},\ t_4^{\text{отс. выб}},\ t_4^{\text{ж}},\ t_4^{\text{г}}\right) \end{array}\right. \tag{63}$$

$$t_{\max}^{\text{ги}} = t_{\max}^{\text{г}} - t_4^{\text{г}}, \tag{64}$$

$$t_4^{\text{и}} = \frac{t_{\text{исп}} - t_4^{\text{г}} + \left|t_{\text{исп}} - t_4^{\text{г}}\right|}{2}, \tag{65}$$

$$t_4^{\text{с}} = \min\left\{\begin{array}{l} \dfrac{\left(Q_{\text{тр}}^{\text{ж}} - Q_{H^{\text{тр}}}^{\text{ж}} + Q^{\text{ж}} - Q_H^{\text{ж}}\right)}{q_4^{\text{с}}}\times \\ \times\left(1 - \exp\left(-\dfrac{C_p\left(T_4 - T_{\text{кип}} + \left|T_4 - T_{\text{кип}}\right|\right)}{2\Delta H_{\text{кип}}}\right)\right) - t_4^{\text{г}} - t_4^{\text{ги}} - t_4^{\text{и}}, \\ \min\text{sum}\left(t_{\text{ликвид}},\ t',\ t'_{\text{отс}},\ t_4^{\text{отс. выб}},\ t_4^{\text{ж}},\ t_4^{\text{г}},\ t_4^{\text{ги}},\ t_4^{\text{и}}\right) \end{array}\right., \tag{66}$$

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

$$\rho_4^{\text{выб}} = \begin{cases} \rho_{\text{кип}} \dfrac{Q_4}{Q_4 - q_4'' t'}, & T_4 > T_{\text{кип}} \text{ или } T_{\text{п}} > T_{\text{кип}} \\ 0{,}0 \text{ в остальных случаях,} \end{cases} \quad (67)$$

$$\rho_4^{\text{ж}} = \rho_{\text{кип}} \frac{q_4^{\text{ж}}}{q_4' + F\sqrt{\mu}\,10^{-6}(5{,}83 + 4{,}1U)\,p_{\text{п}}}, \quad (68)$$

$$\rho_4^{\text{отс. выб}} = \rho_{\text{кип}} \frac{q_4^{\text{отс. выб}}}{q_{4\text{отс}}' + F\sqrt{\mu}\,10^{-6}(5{,}83 + 4{,}1U)\,p_{\text{п}}}, \quad (69)$$

$$\rho_4^{\text{г}} = \rho_4^{\text{ги}} = \rho_4 \left(\frac{P_0}{P_4}\right)^{\frac{1}{\gamma}}, \quad (70)$$

где $\rho_4 = \dfrac{\mu}{R} \dfrac{P_4}{T_4 + 273{,}15}$.

$$\rho_4^{\text{и}} = \rho_4^{\text{с}} = \rho_{\text{кип}}, \quad (71)$$

$$R_4 = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \frac{Q_4}{\rho_4^{\text{выб}}}}, \quad (72)$$

$$R_4^{\text{ж}} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \frac{q_4^{\text{ж}}}{\rho_4^{\text{ж}} U}}, \quad R_4^{\text{отс. выб}} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \frac{q_4^{\text{отс. выб}}}{\rho_4^{\text{отс. выб}} U}}, \quad (73)$$

$$R_4^{\text{г}} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \frac{q_4^{\text{г}}}{\rho_4^{\text{г}} U}}, \quad (74)$$

$$R_4^{\text{ги}} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \frac{q_4^{\text{ги}}}{\rho_4^{\text{ги}} U}}, \quad (75)$$

$$R_4^{\text{и}} = 0{,}5\sqrt{F}, \quad (76)$$

$$R_4^e = 0{,}5\sqrt{S}. \qquad (77)$$

2.3. Определяется высота источника выброса h (м).

Высота выброса задается равной 0, а при наличии обваловки — высоте обваловки над уровнем земли.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ И ТОКСОДОЗЫ

3.1. Для условий, в которых происходит выброс, определяются шероховатость поверхности z_0, класс стабильности и величины дисперсии в зависимости от расстояния x.

3.1.1. Шероховатость поверхности z_0 определяется по табл. 1 приложения 7 в зависимости от типа местности, где происходит рассеяние выброса.

3.1.2. Класс стабильности атмосферы определяется по табл. 2 приложения 7 в зависимости от скорости ветра и интенсивности теплового потока у поверхности (инсоляция и облачность).

Для расчета наихудшего варианта принимается класс стабильности инверсия и скорость ветра 1 м/с.

3.1.3. Величины дисперсии в зависимости от расстояния x определяются по следующим формулам:

$$\sigma_x = \frac{C_3 x}{\sqrt{1+0{,}0001x}}, \qquad (78)$$

$$\sigma_y = \begin{cases} \sigma_x \dfrac{220{,}2\cdot 60 + x/U}{220{,}2\cdot 60 + 600}, & x/U \geq 600 \\ \sigma_x, & x/U < 600, \end{cases} \qquad (79)$$

$$\sigma_z = f(z_0, x)g(x), \qquad (80)$$

где

$$g(x) = \frac{A_1 x^{B_1}}{1 + A_2 x^{B_2}}, \qquad (81)$$

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

$$f(z_0, x) = \begin{cases} \ln\left[C_1 x^{D_1}\left(1 + C_2 x^{D_2}\right)\right], & z_0 < 0{,}1 \text{ м}, \\ \ln\left[C_1 x^{D_1} / \left(1 + C_2 x^{D_2}\right)\right], & z_0 \geq 0{,}1 \text{ м}. \end{cases} \quad (82)$$

Коэффициенты A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2, C_3, D_1, D_2, определяются по табл. 3 и 4 приложения 7.

Величина σ_z, рассчитанная по формуле (80), не должна превосходить величины σ_z, указанной в табл. 5, если это имеет место, то вместо величины, рассчитанной по формуле (80), следует использовать соответствующее данному классу стабильности значение из табл. 5.

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

3.2.1. Концентрация при прохождении первичного облака вычисляется по формуле

$$c_i(x, y, z, t) = \frac{Q_i}{\left(\frac{8}{3}\pi R_i^3 + (2\pi)^{\frac{3}{2}}\sigma_x\sigma_y\sigma_z\right)} G_3(x, y, z, t), \quad (83)$$

$$G_3(x, y, z, t) = \exp\left(-\frac{(x - Ut)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \times \left[\exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right], \quad (84)$$

при вычислении $G_3(x, y, z, t)$, а также во всех последующих расчетах для мгновенных выбросов, используются значения σ_x, σ_y, σ_z, посчитанные по формулам (78)–(80), для точки, где находится центр облака. Максимальная концентрация при прохождении пер-

вичного облака наблюдается на оси $y = 0$, $z = 0$ в центре облака и вычисляется по формуле

$$c_{i\max}(x, 0, 0, t = x/U) = \frac{2Q_i}{\left(\frac{8}{3}\pi R_i^3 + (2\pi)^{\frac{3}{2}}\sigma_x\sigma_y\sigma_z\right)} G_0(x), \qquad (85)$$

$$G_0(x) = \left\{\exp\left(-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}\right)\right\}. \qquad (86)$$

3.2.2. Концентрация при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении жидкого ОХВ из разрушенного оборудования, рассчитывается по формуле

$$c_i^*(x, y, z, t) = \begin{cases} \dfrac{q_i^*}{U\left(2\pi\left(R_i^*\right)^2 + 2\pi\sigma_y\sigma_z\right)} G_{\text{н}}(x, y, z), \\ \text{при } x_{\text{гр}}\left(t_i^*\right) \qquad t > \dfrac{x}{U} \\ 0, \text{ при } x_{\text{гр}}\left(t_i^*\right) \text{ или } t \le \dfrac{x}{U} \qquad t > \dfrac{x}{U} + t_i^* \\ \dfrac{q_i^* t_i^*}{\left(2\pi\left(R_i^*\right)^2 t_i^* U + (2\pi)^{\frac{3}{2}}\sigma_x\sigma_y\sigma_z\right)} G_3(x, y, z, t), \; x > x_{\text{гр}}\left(t_i^*\right), \end{cases} \qquad (87)$$

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

$$G_{\text{н}}(x, y, z) = \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)\left[\exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right)+\exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right], \quad (88)$$

$$x_{\text{гр}}\left(t_i^*\right) = \frac{10^{-4}\left(t_i^*\right)^2 U^2 + \sqrt{8\pi C_3^2\left(t_i^*\right)^2 U^2 + 10^{-8}\left(t_i^*\right)^4 U^4}}{4\pi C_3^2}. \quad (89)$$

Максимальная концентрация на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси $y = 0, z = 0$ и вычисляется по формуле

$$c_{i\max}^*(x, 0, 0) = \begin{cases} \dfrac{2q_i^*}{U\left(2\pi\left(R_i^*\right)^2 + 2\pi\sigma_y\sigma_z\right)} G_0(x), & x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^*\right) \\ \dfrac{2q_i^* t_i^*}{\left(2\pi\left(R_i^*\right)^2 t_i^* U + (2\pi)^{\frac{3}{2}}\sigma_x\sigma_y\sigma_z\right)} G_0(x), & x > x_{\text{гр}}\left(t_i^*\right). \end{cases} \quad (90)$$

3.2.3. Концентрация при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении жидкого ОХВ из разрушенного оборудования после отсечения аварийного участка оборудования, рассчитывается по формуле

$$c_i^{\text{отс. выб}}(x, y, z, t) = \begin{cases} 0, \ t \le t_i^{\text{ж}} \\ \dfrac{q_i^{\text{отс. выб}}}{U\left(2\pi\left(R_i^{\text{отс. выб}}\right)^2 + 2\pi\sigma_y\sigma_z\right)} G_{\text{н}}(x, y, z), \\ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{отс. выб}}\right) \text{ и } t > t_i^{\text{ж}} + \dfrac{x}{U} \\ 0, \ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{отс. выб}}\right) \text{ при } t \le t_i^{\text{ж}} + \dfrac{x}{U} \\ \text{или } t > \dfrac{x}{U} + t_i^{\text{ж}} + t_i^{\text{отс. выб}}, \\ \dfrac{q_i^{\text{отс. выб}} t_i^{\text{отс. выб}}}{2\pi\left(R_i^{\text{отс. выб}}\right)^2 t_i^{\text{отс. выб}} U + (2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_x\sigma_y\sigma_z} \times \\ \times G_{\text{з}}\left(x, y, z, t - t_i^{\text{ж}}\right), \ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{отс. выб}}\right) \text{ и } t > t_i^{\text{ж}}. \end{cases} \tag{91}$$

Максимальная концентрация на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси $y = 0$, $z = 0$ и вычисляется по формуле

$$c_{i\max}^{\text{отс. выб}}(x, 0, 0) = \begin{cases} \dfrac{2q_i^{\text{отс. выб}}}{U\left(2\pi\left(R_i^{\text{отс. выб}}\right)^2 + 2\pi\sigma_y\sigma_z\right)} G_0(x), \ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{отс. выб}}\right) \\ \dfrac{2q_i^{\text{отс. выб}} t_i^{\text{отс. выб}}}{2\pi\left(R_i^{\text{отс. выб}}\right)^2 t_i^{\text{отс. выб}} U + (2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_x\sigma_y\sigma_z} \times \\ \times G_0(x), \ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{отс. выб}}\right). \end{cases} \tag{92}$$

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

3.2.4. Концентрация при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении газообразного ОХВ из разрушенного оборудования при наличии пролива, рассчитывается по формуле

$$c_i^{\Gamma}(x, y, z, t) = \begin{cases} 0, \ t \le t_i^{\text{ж}} + t_i^{\text{отс. выб}} \\ \begin{cases} \dfrac{q_i^{\Gamma}}{U\left(2\pi\left(R_i^{\Gamma}\right)^2 + 2\pi\sigma_y\sigma_z\right)} G_{\text{н}}(x, y, z), \\ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\Gamma}\right) \text{ и } t > t_i^{\text{ж}} + t_i^{\text{отс. выб}} + \dfrac{x}{U} \\ 0, \ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\Gamma}\right) \text{ при } t \le t_i^{\text{ж}} + t_i^{\text{отс. выб}} + \dfrac{x}{U} \\ \text{или } t > \dfrac{x}{U} + t_i^{\text{ж}} + t_i^{\text{отс. выб}} + t_i^{\Gamma}, \end{cases} \\ \dfrac{q_i^{\Gamma} t_i^{\Gamma}}{2\pi\left(R_i^{\Gamma}\right)^2 t_i^{\Gamma} U + (2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_x\sigma_y\sigma_z} G_3\left(x, y, z, t - t_i^{\text{ж}} - t_i^{\text{отс. выб}}\right), \\ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^{\Gamma}\right) \text{ и } t > t_i^{\text{ж}} + t_i^{\text{отс. выб}}. \end{cases} \tag{93}$$

Максимальная концентрация на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси $y = 0$, $z = 0$ и вычисляется по формуле

$$c_{i\max}^{\Gamma}(x, 0, 0) = \begin{cases} \dfrac{2q_i^{\Gamma}}{U\left(2\pi\left(R_i^{\Gamma}\right)^2 + 2\pi\sigma_y\sigma_z\right)} G_0(x), \ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\Gamma}\right) \\ \dfrac{2q_i^{\Gamma} t_i^{\Gamma}}{2\pi\left(R_i^{\Gamma}\right)^2 t_i^{\Gamma} U + (2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_x\sigma_y\sigma_z} G_0(x), \ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^{\Gamma}\right). \end{cases} \tag{94}$$

3.2.5. Концентрация при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении газообразного ОХВ из разрушенного оборудования в отсутствие пролива, рассчитывается по формуле

$$c_i^{\text{ги}}(x, y, z, t)=\begin{cases}0, \ t \le t_i^{\text{ж}}+t_i^{\text{г}}+t_i^{\text{отс. выб}} \\ \begin{cases}\dfrac{q_i^{\text{ги}}}{U\left(2\pi\left(R_i^{\text{ги}}\right)^2+2\pi\sigma_y\sigma_z\right)}G_{\text{н}}(x, y, z), \\ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{ги}}\right) \text{ и } t > t_i^{\text{ж}}+t_i^{\text{г}}+t_i^{\text{отс. выб}}+\dfrac{x}{U} \\ 0, \ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{ги}}\right) \text{ при } t \le t_i^{\text{ж}}+t_i^{\text{г}}+t_i^{\text{отс. выб}}+\dfrac{x}{U} \\ \text{или } t > \dfrac{x}{U}+t_i^{\text{ж}}+t_i^{\text{отс. выб}}+t_i^{\text{г}}+t_i^{\text{ги}}, \end{cases} \\ \dfrac{q_i^{\text{ги}}t_i^{\text{ги}}}{2\pi\left(R_i^{\text{ги}}\right)^2 t_i^{\text{ги}}U+(2\pi)^{\frac{3}{2}}\sigma_x\sigma_y\sigma_z}\times \\ \times G_3\left(x, y, z, t-t_i^{\text{ж}}-t_i^{\text{г}}-t_i^{\text{отс. выб}}\right), \\ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{ги}}\right) \text{ и } t > t_i^{\text{ж}}+t_i^{\text{г}}+t_i^{\text{отс. выб}}. \end{cases} \qquad (95)$$

Максимальная концентрация на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси $y = 0$, $z = 0$ и вычисляется по формуле

$$c_{i\max}^{\text{ги}}(x, 0, 0)=\begin{cases}\dfrac{2q_i^{\text{ги}}}{U\left(2\pi\left(R_i^{\text{ги}}\right)^2+2\pi\sigma_y\sigma_z\right)}G_0(x), \ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{ги}}\right) \\ \dfrac{2q_i^{\text{ги}}t_i^{\text{ги}}}{2\pi\left(R_i^{\text{ги}}\right)^2 t_i^{\text{ги}}U+(2\pi)^{\frac{3}{2}}\sigma_x\sigma_y\sigma_z}G_0(x), \ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{ги}}\right). \end{cases} \qquad (96)$$

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

3.2.6. Концентрация при прохождении вторичного облака, образующегося при испарении ОХВ из пролива, рассчитывается по формуле

$$c_i^{\text{и}}(x, y, z, t)=\begin{cases}0, \ t \le t_i^{\text{ж}}+t_i^{\text{г}}+t_i^{\text{ги}}+t_i^{\text{отс. выб}} \\ \begin{cases}\dfrac{q_i^{\text{и}}}{2q_i^{\text{и}}/\rho_i^{\text{и}}+2\pi U\sigma_y\sigma_z}G_{\text{н}}(x, y, z), \\ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{и}}\right) \text{ и } t \ge t_i^{\text{ж}}+t_i^{\text{г}}+t_i^{\text{ги}}+t_i^{\text{отс. выб}}+\dfrac{x}{U}\end{cases} \\ \begin{cases}0, x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{и}}\right) \text{ при } t < t_i^{\text{ж}}+t_i^{\text{г}}+t_i^{\text{ги}}+t_i^{\text{отс. выб}}+\dfrac{x}{U} \\ \text{или } t > \dfrac{x}{U}+t_i^{\text{ж}}+t_i^{\text{отс. выб}}+t_i^{\text{г}}+t_i^{\text{ги}}+t_i^{\text{и}},\end{cases} \\ \dfrac{q_i^{\text{и}}t_i^{\text{и}}}{2q_i^{\text{и}}t_i^{\text{и}}/\rho_i^{\text{и}}+(2\pi)^{\frac{3}{2}}\sigma_x\sigma_y\sigma_z}\times \\ \times G_{\text{з}}\left(x, y, z, t-t_i^{\text{ж}}-t_i^{\text{г}}-t_i^{\text{ги}}-t_i^{\text{отс. выб}}\right), \\ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{и}}\right) \text{ и } t \ge t_i^{\text{ж}}+t_i^{\text{г}}+t_i^{\text{ги}}+t_i^{\text{отс. выб}}.\end{cases} \qquad (97)$$

Максимальная концентрация на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси $y = 0$, $z = 0$ и рассчитывается по формуле

$$c_{i\max}^{\text{и}}(x, 0, 0)=\begin{cases}\dfrac{2q_i^{\text{и}}}{2q_i^{\text{и}}/\rho_i^{\text{и}}+2\pi\sigma_y\sigma_z U}G_0(x), \ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{и}}\right) \\ \dfrac{2q_i^{\text{и}}t_i^{\text{и}}}{2q_i^{\text{и}}t_i^{\text{и}}/\rho_i^{\text{и}}+(2\pi)^{\frac{3}{2}}\sigma_x\sigma_y\sigma_z}G_0(x), \ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{и}}\right).\end{cases} \qquad (98)$$

3.2.7. Концентрация при прохождении вторичного облака, образующегося при испарении ОХВ из емкости, вычисляется по формуле

$$c_i^{\text{с}}(x, y, z, t)=\begin{cases} 0, \ t \le t_i^{\text{ж}} + t_i^{\text{г}} + t_i^{\text{пи}} + t_i^{\text{и}} + t_i^{\text{отс. выб}} \\ \left.\begin{array}{l} \dfrac{q_i^{\text{с}}}{2q_i^{\text{с}}/\rho_i^{\text{с}} + 2\pi U \sigma_y \sigma_z} G_{\text{н}}(x, y, z), \\ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{с}}\right) \text{ и } t \ge t_i^{\text{ж}} + t_i^{\text{г}} + t_i^{\text{пи}} + t_i^{\text{и}} + t_i^{\text{отс. выб}} + \dfrac{x}{U} \end{array}\right. \\ \left.\begin{array}{l} 0, \ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{с}}\right) \text{ при } t < t_i^{\text{ж}} + t_i^{\text{г}} + t_i^{\text{пи}} + t_i^{\text{и}} + t_i^{\text{отс. выб}} + \dfrac{x}{U} \\ \text{или } t > \dfrac{x}{U} + t_i^{\text{ж}} + t_i^{\text{отс. выб}} + t_i^{\text{г}} + t_i^{\text{пи}} + t_i^{\text{и}} + t_i^{\text{с}}, \end{array}\right. \\ \dfrac{q_i^{\text{с}} t_i^{\text{с}}}{2q_i^{\text{с}} t_i^{\text{с}}/\rho_i^{\text{с}} + (2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \times \\ \times G_{\text{з}}\left(x, y, z, t - t_i^{\text{ж}} - t_i^{\text{г}} - t_i^{\text{пи}} - t_i^{\text{и}} - t_i^{\text{отс. выб}}\right), \\ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{с}}\right) \text{ и } t \ge t_i^{\text{ж}} + t_i^{\text{г}} + t_i^{\text{пи}} + t_i^{\text{и}} + t_i^{\text{отс. выб}}. \end{cases} \quad (99)$$

Максимальная концентрация на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси $y = 0$, $z = 0$ и рассчитывается по формуле

$$c_{i\max}^{\text{с}}(x, 0, 0)=\begin{cases} \dfrac{2q_i^{\text{с}}}{2q_i^{\text{с}}/\rho_i^{\text{с}} + 2\pi U \sigma_y \sigma_z} G_0(x), \ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{с}}\right) \\ \dfrac{2q_i^{\text{с}} t_i^{\text{с}}}{2q_i^{\text{с}} t_i^{\text{с}}/\rho_i^{\text{с}} + (2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} G_0(x), \ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{с}}\right). \end{cases} \quad (100)$$

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

3.3. Определяется максимально возможная концентрация на расстоянии x от места аварии при i-м сценарии:

$$c_i^{\max} = \max\left(c_{i\max}, c_{i\max}^{\text{ж}}, c_{i\max}^{\text{отс. выб}}, c_{i\max}^{\text{г}}, c_{i\max}^{\text{ги}}, c_{i\max}^{\text{и}}, c_{i\max}^{\text{с}}\right). \quad (101)$$

Концентрация в точке в момент времени t определяется по формуле

$$c = c_i + c_i^{\text{ж}} + c_i^{\text{отс. выб}} + c_i^{\text{г}} + c_i^{\text{ги}} + c_i^{\text{и}} + c_i^{\text{с}}. \quad (102)$$

3.4. Определяется поле токсодозы.

3.4.1. Составляющая токсодозы при прохождении первичного облака

$$D_i(x, y, z) = \frac{Q_i (2\pi)^{\frac{1}{2}} \sigma_x}{U\left(\frac{8}{3}\pi R_i^3 + (2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_x \sigma_y \sigma_z\right)} G_{\text{н}}(x, y, z). \quad (103)$$

Максимальная составляющая токсодозы на поверхности земли при прохождении первичного облака наблюдается на оси $y = 0$, $z = 0$ и составляет

$$D_{i\max}(x, 0, 0) = \frac{2Q_i (2\pi)^{\frac{1}{2}} \sigma_x}{U\left(\frac{8}{3}\pi R_i^3 + (2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_x \sigma_y \sigma_z\right)} G_0(x). \quad (104)$$

3.4.2. Составляющая токсодозы при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении жидкого ОХВ из разрушенного оборудования, равна

$$D_i^*(x, y, z) = \begin{cases} \dfrac{q_i^* \min\left\{t_i^*,\ t_{\text{эксп}}\right\}}{U\left(2\pi\left(R_i^*\right)^2 + 2\pi\sigma_y\sigma_z\right)} G_{\text{н}}(x, y, z),\ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^*\right) \\ \dfrac{q_i^* (2\pi)^{\frac{1}{2}} \sigma_x \min\left\{t_i^*,\ t_{\text{эксп}}\right\}}{U\left(2\pi\left(R_i^*\right)^2 t_i^* U + (2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_x\sigma_y\sigma_z\right)} G_{\text{н}}(x, y, z),\ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^*\right). \end{cases} \quad (105)$$

Максимальная составляющая токсодозы на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси $y = 0$, $z = 0$ и составляет

$$D_{i\max}^*(x, 0, 0) = \begin{cases} \dfrac{2q_i^* \min\left\{t_i^*,\ t_{\text{эксп}}\right\}}{U\left(2\pi\left(R_i^*\right)^2 + 2\pi\sigma_y\sigma_z\right)} G_0(x),\ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^*\right) \\ \dfrac{2q_i^* (2\pi)^{\frac{1}{2}} \sigma_x \min\left\{t_i^*,\ t_{\text{эксп}}\right\}}{U\left(2\pi\left(R_i^*\right)^2 t_i^* U + (2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_x\sigma_y\sigma_z\right)} G_0(x),\ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^*\right). \end{cases} \quad (106)$$

3.4.3. Составляющая токсодозы при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении жидкого ОХВ из разрушенного оборудования после отсечения аварийного участка, равна

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

$$D_i^{\text{отс. выб}}(x, y, z) = \begin{cases} \dfrac{q_i^{\text{отс. выб}} \min\left\{t_i^{\text{отс. выб}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^*\right\}\right\}}{U\left(2\pi\left(R_i^{\text{отс. выб}}\right)^2 + 2\pi\sigma_y\sigma_z\right)} \times \\ \times G_{\text{н}}(x, y, z),\ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{отс. выб}}\right) \\ \dfrac{q_i^{\text{отс. выб}}(2\pi)^{\frac{1}{2}}\sigma_x \min\left\{t_i^{\text{отс. выб}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^*\right\}\right\}}{U\left(2\pi\left(R_i^{\text{отс. выб}}\right)^2 t_i^{\text{отс. выб}} U + (2\pi)^{\frac{3}{2}}\sigma_x\sigma_y\sigma_z\right)} \times \\ \times G_{\text{н}}(x, y, z),\ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{отс. выб}}\right). \end{cases} \quad (107)$$

Максимальная составляющая токсодозы на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси $y = 0$, $z = 0$ и составляет

$$D_{i\max}^{\text{отс. выб}}(x, 0, 0) = \begin{cases} \dfrac{2q_i^{\text{отс. выб}} \min\left\{t_i^{\text{отс. выб}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^*\right\}\right\}}{U\left(2\pi\left(R_i^{\text{отс. выб}}\right)^2 + 2\pi\sigma_y\sigma_z\right)} \times \\ \times G_0(x),\ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{отс. выб}}\right) \\ \dfrac{2q_i^{\text{отс. выб}}(2\pi)^{\frac{1}{2}}\sigma_x \min\left\{t_i^{\text{отс. выб}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^*\right\}\right\}}{U\left(2\pi\left(R_i^{\text{отс. выб}}\right)^2 t_i^{\text{отс. выб}} U + (2\pi)^{\frac{3}{2}}\sigma_x\sigma_y\sigma_z\right)} \times \\ \times G_0(x),\ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{отс. выб}}\right). \end{cases} \quad (108)$$

3.4.4. Составляющая токсодозы при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении газообразного ОХВ из разрушенного оборудования до испарения пролива, равна

$$D_i^{\text{г}}(x, y, z) = \begin{cases} \dfrac{q_i^{\text{г}} \min\left\{t_i^{\text{г}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^{*}, t_i^{\text{отс. выб}}\right\}\right\}}{U\left(2\pi\left(R_i^{\text{г}}\right)^2 + 2\pi\sigma_y\sigma_z\right)} \times \\ \times G_{\text{н}}(x, y, z),\ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{г}}\right) \\ \dfrac{q_i^{\text{г}} (2\pi)^{\frac{1}{2}} \sigma_x \min\left\{t_i^{\text{г}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^{*}, t_i^{\text{отс. выб}}\right\}\right\}}{U\left(2\pi\left(R_i^{\text{г}}\right)^2 t_i^{\text{г}} U + (2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_x\sigma_y\sigma_z\right)} \times \\ \times G_{\text{н}}(x, y, z),\ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{г}}\right). \end{cases} \quad (109)$$

Максимальная составляющая токсодозы на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси $y = 0$, $z = 0$ и составляет

$$D_{i\max}^{\text{г}}(x, 0, 0) = \begin{cases} \dfrac{2q_i^{\text{г}} \min\left\{t_i^{\text{г}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^{*}, t_i^{\text{отс. выб}}\right\}\right\}}{U\left(2\pi\left(R_i^{\text{г}}\right)^2 + 2\pi\sigma_y\sigma_z\right)} \times \\ \times G_0(x),\ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{г}}\right) \\ \dfrac{2q_i^{\text{г}} (2\pi)^{\frac{1}{2}} \sigma_x \min\left\{t_i^{\text{г}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^{*}, t_i^{\text{отс. выб}}\right\}\right\}}{U\left(2\pi\left(R_i^{\text{г}}\right)^2 t_i^{\text{г}} U + (2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_x\sigma_y\sigma_z\right)} \times \\ \times G_0(x),\ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{г}}\right). \end{cases} \quad (110)$$

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

3.4.5. Составляющая токсодозы при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении газообразного ОХВ из разрушенного оборудования после испарения пролива, равна

$$D_i^{\text{ги}}(x, y, z) = \begin{cases} \dfrac{q_i^{\text{ги}} \min\left\{t_i^{\text{ги}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^{\text{ж}}, t_i^{\text{отс. выб}}, t_i^{\text{г}}\right\}\right\}}{U\left(2\pi\left(R_i^{\text{ги}}\right)^2 + 2\pi\sigma_y\sigma_z\right)} \times \\ \times G_{\text{н}}(x, y, z),\ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{ги}}\right) \\ \dfrac{q_i^{\text{ги}}(2\pi)^{\frac{1}{2}}\sigma_x \min\left\{t_i^{\text{ги}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^{\text{ж}}, t_i^{\text{отс. выб}}, t_i^{\text{г}}\right\}\right\}}{U\left(2\pi\left(R_i^{\text{ги}}\right)^2 t_i^{\text{ги}} U + (2\pi)^{\frac{3}{2}}\sigma_x\sigma_y\sigma_z\right)} \times \\ \times G_{\text{н}}(x, y, z),\ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{ги}}\right). \end{cases} \quad (111)$$

Максимальная составляющая токсодозы на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси $y = 0$, $z = 0$ и составляет

$$D_{i\max}^{\text{ги}}(x, 0, 0) = \begin{cases} \dfrac{2q_i^{\text{ги}} \min\left\{t_i^{\text{ги}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^{\text{ж}}, t_i^{\text{отс. выб}}, t_i^{\text{г}}\right\}\right\}}{U\left(2\pi\left(R_i^{\text{ги}}\right)^2 + 2\pi\sigma_y\sigma_z\right)} \times \\ \times G_0(x),\ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{ги}}\right) \\ \dfrac{2q_i^{\text{ги}}(2\pi)^{\frac{1}{2}}\sigma_x \min\left\{t_i^{\text{ги}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^{\text{ж}}, t_i^{\text{отс. выб}}, t_i^{\text{г}}\right\}\right\}}{U\left(2\pi\left(R_i^{\text{ги}}\right)^2 t_i^{\text{ги}} U + (2\pi)^{\frac{3}{2}}\sigma_x\sigma_y\sigma_z\right)} \times \\ \times G_0(x),\ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{ги}}\right). \end{cases} \quad (112)$$

3.4.6. Составляющая токсодозы при прохождении вторичного облака, образующегося при испарении ОХВ из пролива, равна

$$D_i^{\text{и}}(x, y, z) = \begin{cases} \dfrac{q_i^{\text{и}} \min\left\{t_i^{\text{и}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^{\text{ж}}, t_i^{\text{отс. выб}}, t_i^{\text{г}}, t_i^{\text{ги}}\right\}\right\}}{2q_i^{\text{и}}/\rho_i^{\text{и}} + 2\pi U \sigma_y \sigma_z} \times \\ \times G_{\text{н}}(x, y, z),\ x \le x_{\text{гр}}(t_i^{\text{и}}) \\ \dfrac{q_i^{\text{и}} (2\pi)^{\frac{1}{2}} \sigma_x \min\left\{t_i^{\text{и}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^{\text{ж}}, t_i^{\text{отс. выб}}, t_i^{\text{г}}, t_i^{\text{ги}}\right\}\right\}}{U\left(2q_i^{\text{и}} t_i^{\text{и}}/\rho_i^{\text{и}} + (2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_x \sigma_y \sigma_z\right)} \times \\ \times G_{\text{н}}(x, y, z),\ x > x_{\text{гр}}(t_i^{\text{и}}). \end{cases} \quad (113)$$

Максимальная составляющая токсодозы на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси $y = 0$, $z = 0$ и составляет

$$D_{i\max}^{\text{и}}(x, 0, 0) = \begin{cases} \dfrac{2q_i^{\text{и}} \min\left\{t_i^{\text{и}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^{\text{ж}}, t_i^{\text{отс. выб}}, t_i^{\text{г}}, t_i^{\text{ги}}\right\}\right\}}{2q_i^{\text{и}}/\rho_i^{\text{и}} + 2\pi U \sigma_y \sigma_z} \times \\ \times G_0(x),\ x \le x_{\text{гр}}(t_i^{\text{и}}) \\ \dfrac{2q_i^{\text{и}} (2\pi)^{\frac{1}{2}} \sigma_x \min\left\{t_i^{\text{и}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^{\text{ж}}, t_i^{\text{отс. выб}}, t_i^{\text{г}}, t_i^{\text{ги}}\right\}\right\}}{U\left(2q_i^{\text{и}} t_i^{\text{и}}/\rho_i^{\text{и}} + (2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_x \sigma_y \sigma_z\right)} \times \\ \times G_0(x),\ x > x_{\text{гр}}(t_i^{\text{и}}). \end{cases} \quad (114)$$

3.4.7. Составляющая токсодозы при прохождении вторичного облака, образующегося при испарении ОХВ из емкости, равна

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

$$D_i^{\text{с}}(x, y, z) = \begin{cases} \dfrac{q_i^{\text{с}} \min\left\{t_i^{\text{с}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^{\text{ж}}, t_i^{\text{отс. выб}}, t_i^{\text{г}}, t_i^{\text{ги}}, t_i^{\text{и}}\right\}\right\}}{2q_i^{\text{с}}/\rho_i^{\text{с}} + 2\pi U \sigma_y \sigma_z} \times \\ \times G_{\text{н}}(x, y, z),\ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{с}}\right) \\ \dfrac{q_i^{\text{с}} (2\pi)^{\frac{1}{2}} \sigma_x \min\left\{t_i^{\text{с}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^{\text{ж}}, t_i^{\text{отс. выб}}, t_i^{\text{г}}, t_i^{\text{ги}}, t_i^{\text{и}}\right\}\right\}}{U\left(2q_i^{\text{с}} t_i^{\text{с}}/\rho_i^{\text{с}} + (2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_x \sigma_y \sigma_z\right)} \times \\ \times G_{\text{н}}(x, y, z),\ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{с}}\right). \end{cases} \quad (115)$$

Максимальная составляющая токсодозы на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси $y = 0$, $z = 0$ и составляет

$$D_{i\max}^{\text{с}}(x, 0, 0) = \begin{cases} \dfrac{2q_i^{\text{с}} \min\left\{t_i^{\text{с}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^{\text{ж}}, t_i^{\text{отс. выб}}, t_i^{\text{г}}, t_i^{\text{ги}}, t_i^{\text{и}}\right\}\right\}}{2q_i^{\text{с}}/\rho_i^{\text{с}} + 2\pi U \sigma_y \sigma_z} \times \\ \times G_0(x),\ x \le x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{с}}\right) \\ \dfrac{2q_i^{\text{с}} (2\pi)^{\frac{1}{2}} \sigma_x \min\left\{t_i^{\text{с}},\ \text{minsum}\left\{t_{\text{эксп}}, t_i^{\text{ж}}, t_i^{\text{отс. выб}}, t_i^{\text{г}}, t_i^{\text{ги}}, t_i^{\text{и}}\right\}\right\}}{U\left(2q_i^{\text{с}} t_i^{\text{с}}/\rho_i^{\text{с}} + (2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_x \sigma_y \sigma_z\right)} \times \\ \times G_0(x),\ x > x_{\text{гр}}\left(t_i^{\text{с}}\right). \end{cases} \quad (116)$$

3.5. Определяется максимальная токсодоза на расстоянии x от места аварии при i-м сценарии:

$$D_i^{\max} = D_{i\max} + D_{i\max}^{\text{ж}} + D_{i\max}^{\text{отс. выб}} + D_{i\max}^{\text{г}} + D_{i\max}^{\text{ги}} + D_{i\max}^{\text{и}} + D_{i\max}^{\text{с}}. \quad (117)$$

3.6. Сравнением с пороговыми и смертельными токсодозами (см. табл. 7 приложения 7) определяются расстояния, соответствующие смертельному поражению и пороговому воздействию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика оценки последствий химических аварий (методика «Токси»). — М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 1993.

2. Гусев Н. Г., Беляев В. А. Радиоактивные выбросы в биосфере / Справочник. — М.: Энергоатомиздат, 1986.

3. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств (ПБ 09-170–97). Утв. Госгортехнадзором СССР.

4. Маршалл В. Основные опасности химических производств. — М.: Мир, 1989.

5. Montgomery T. C., Coleman J. H. Empirical Relationship Between Time-avereged SO_2 concentrations / Env. Sci & Tech, Oct. 1975.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

Приложение 1

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).

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).

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 и 7 отсекаемый участок аварийного трубопровода обозначен *1* и расположен справа от задвижки, которая, в свою очередь, расположена на трубопроводе около емкости.

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 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. 8 и 9 отсекаемый участок аварийного трубопровода обозначен *1* и расположен справа от задвижки, которая, в свою очередь, расположена на трубопроводе около компрессора (насоса).

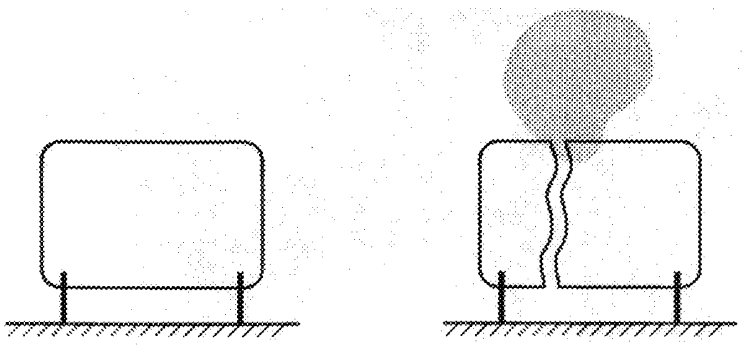

Рис. 1. Мгновенное разрушение емкости с газом

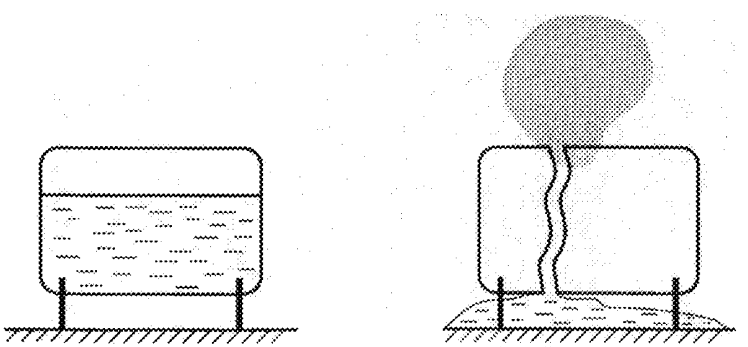

Рис. 2. Мгновенное разрушение емкости с жидкой фазой

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

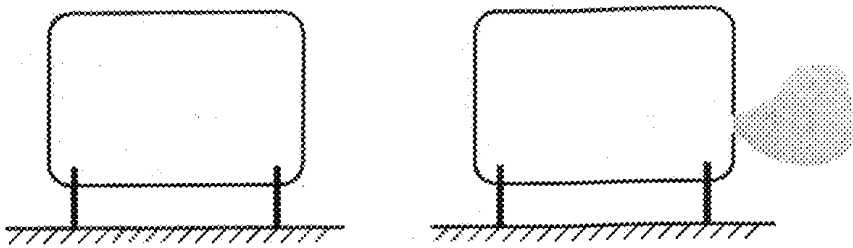

Рис. 3. Разгерметизация емкости с газом

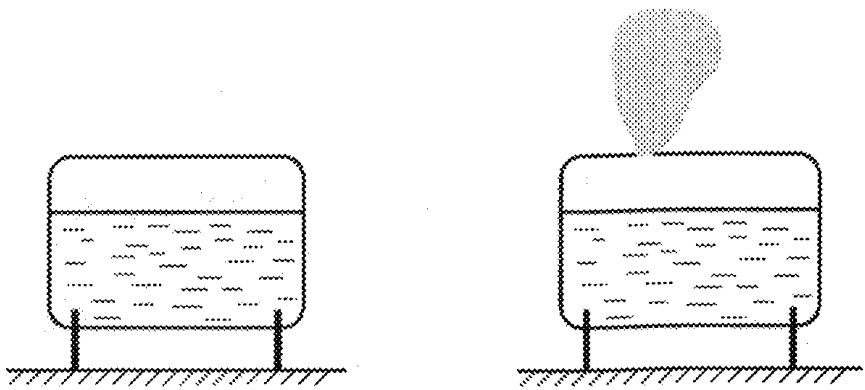

Рис. 4. Разгерметизация емкости с жидкой фазой выше уровня жидкости

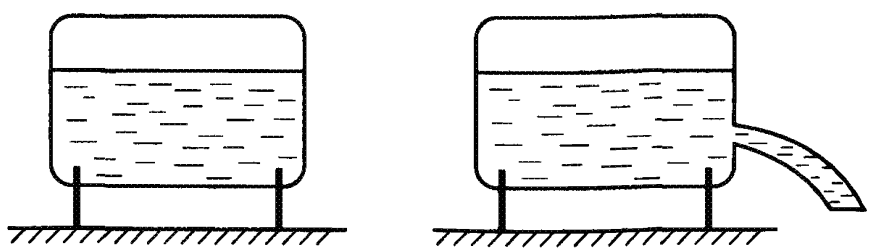

Рис. 5. Разгерметизация емкости с жидкой фазой ниже уровня жидкости

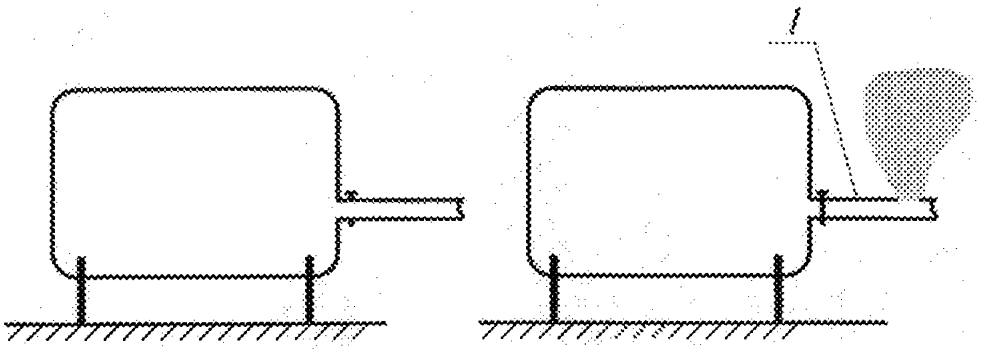

Рис. 6. Разгерметизация трубопровода с газом, присоединенного к емкости (*1* — отсекаемый участок аварийного трубопровода)

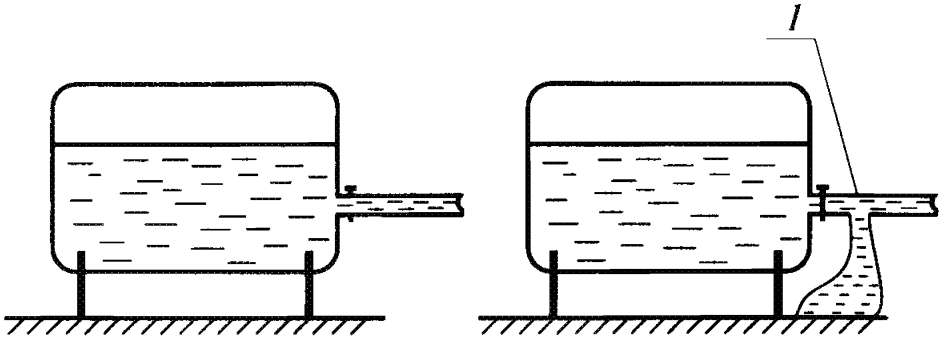

Рис. 7. Разгерметизация трубопровода с жидкой фазой, присоединенного к емкости (*1* — отсекаемый участок аварийного трубопровода)

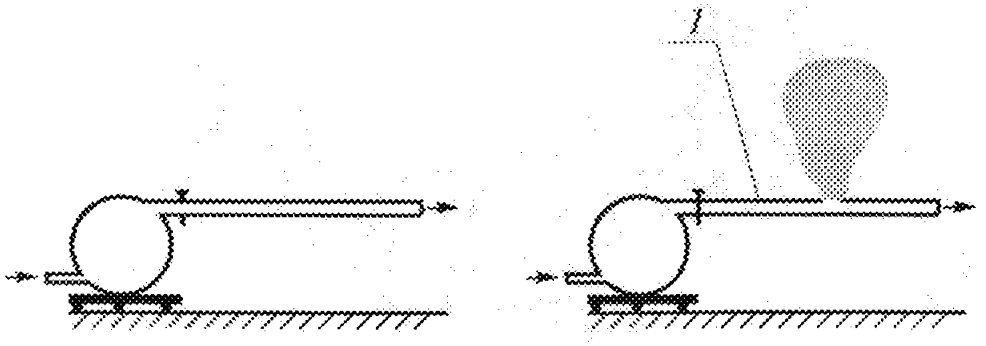

Рис. 8. Разгерметизация трубопровода с газом, присоединенного к компрессору (*1* — отсекаемый участок аварийного трубопровода)

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

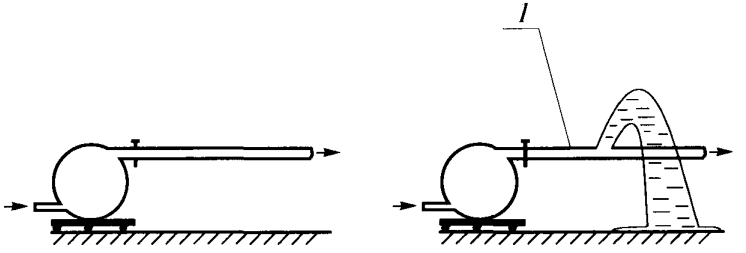

Рис. 9. Разгерметизация трубопровода с жидкой фазой, присоединенного к насосу (*1* — отсекаемый участок аварийного трубопровода)

Приложение 2

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 ОХВ.

В зависимости от сценария, конфигурации оборудования, характера разрушения, свойств ОХВ 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 ОХВ, образование первичного облака, рассеяние первичного облака и воздействие на окружающую среду.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

Сценарий 2 (рис. 3, 6, 8 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 ОХВ в трубопровод, либо в результате и того и другого) аварийного участка трубопровода и истечение ОХВ из него. При этом также образуется облако, которое рассеивается в атмосфере и воздействует на окружающую среду.

Возможно прекращение аварии путем ликвидации отверстия разгерметизации.

Сценарий 3 (рис. 2 приложения 1)

Разрушение оборудования с жидким ОХВ, выброс ОХВ в окружающую среду, при наличии перегрева у жидкой фазы возможно ее вскипание с образованием в атмосфере газокапельного облака. Часть жидкой фазы может пролиться на подстилающую поверхность — либо в обваловку, либо на неограниченную площадь. Если жидкость при этом имеет температуру кипения меньше температуры поверхности, то произойдет вскипание жидкости при ее соприкосновении с подстилающей поверхностью. Из газовой фазы, содержавшейся в оборудовании, из образовавшейся при вскипании за счет перегрева жидкой фазы газокапельной фазы и из газа, образующегося при кипении пролива, образуется первичное облако, которое рассеивается в атмосфере и воздействует на окружающую среду.

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

Возможно прекращение аварии 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 ОХВ (вторичного) и воздействие его на окружающую среду. Возможно прекращение аварии 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 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.

Продолжающийся (если не вся жидкая фаза, расположенная выше уровня отверстия разгерметизации, была выброшена из блока за время формирования первичного облака) выброс жидкой фазы идет в пролив, с поверхности которого происходит испарение ОХВ.

При истечении перегретой жидкости продолжающийся выброс жидкой фазы также вскипает до выпадения на землю, образуя в атмосфере газокапельную взвесь ОХВ. При этом в атмосфере образуется вторичное облако ОХВ, состоящее из газообразного ОХВ, испарившегося с пролива, и (при выбросе перегретой жид-

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

кости) из газокапельной взвеси, образующейся при вскипании ОХВ 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 ОХВ, соответствующего температуре в емкости, то по мере вытекания ее из емкости возможно и вскипание перегретого ОХВ 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 ОХВ, состоящее из газообразного ОХВ, испарившегося с пролива, и из газообразного ОХВ, 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 ОХВ при этом еще не испарился, то в атмосфере образуется вторичное облако ОХВ, состоящее из газообразного ОХВ, испарившегося с пролива. Такое вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока будет существовать испарение ОХВ 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 ОХВ, состоящее из газообразного ОХВ, 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 ОХВ на месте аварии испарился и давление в емкости стало равным атмосферному, то поступление ОХВ в окружающую среду будет обусловлено лишь испарением ОХВ с поверхности жидкости в емкости. При этом в атмосфере образуется вторичное облако ОХВ, состоящее из газообразного ОХВ, поступающего из разгерметизированной емкости за счет испарения ОХВ из нее. Вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока не испарится все ОХВ из емкости или пока не будет заткнуто отверстие разгерметизации и тем самым ликвидирована авария.

Возможно прекращение аварии путем ликвидации аварийного отверстия и пролива.

Сценарий 4. Аварии на трубопроводах, на входе которых стоит емкость (рис. 7 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 ОХВ (вторичного) и воздействие его на окружающую среду. При нали-

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

чии запирающей арматуры возможно отсечение аварийного участка трубопровода и истечение ОХВ только из этого аварийного участка. При этом также образуется облако, которое рассеивается в атмосфере и воздействует на окружающую среду. Возможно прекращение аварии путем ликвидации отверстия разгерметизации.

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

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

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

При разрушении трубопровода происходит истечение жидкой фазы из разрушенного оборудования 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. 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 ОХВ. При выбросе перегретой жидкости часть жидкой фазы вскипает до выпадения на землю, образуя затем в атмосфере газокапельную взвесь ОХВ. При этом в атмосфере образуется вторичное облако ОХВ, состоящее из газообразного ОХВ, испарившегося с пролива, и (при выбросе перегретой жидкости) из газокапельной взвеси, образующейся при вскипании ОХВ, 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), т.е. 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 ОХВ, состоящее из газообразного ОХВ, испарившегося с пролива, и из газообразного ОХВ, поступающего из разрушенного трубопровода за счет наличия избыточного давления в нем. Такое вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока бу-

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

дет 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 ОХВ при этом еще не испарился, то в атмосфере образуется вторичное облако ОХВ, состоящее из газообразного ОХВ, испарившегося с пролива. Такое вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока будет существовать испарение ОХВ 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 ОХВ, состоящее из газообразного ОХВ, 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 ОХВ на месте аварии испарился и давление в отсеченном участке аварийного трубопровода стало равным атмосферному, то поступление ОХВ в окружающую среду будет обусловлено лишь испарением ОХВ с поверхности жидкости в трубопроводе. В атмосфере при этом образуется вторичное облако ОХВ, состоящее из газообразного ОХВ, поступающего из разгерметизированного трубопровода за счет испарения ОХВ из него. Такое вторичное облако будет формироваться на месте аварии до тех пор, пока не испарится все ОХВ из трубопровода или пока не будет ликвидировано отверстие разгерметизации, а значит, и вся авария.

Возможно прекращение аварии путем ликвидации аварийного отверстия и пролива в любой момент времени.

Приложение 3

ПЕРЕЧЕНЬ НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТА ДАННЫХ

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

тип местности, где происходит рассеяние выброса (необходим для определения z_0 — величины шероховатости подстилающей поверхности);

скорость ветра на высоте до 10 м;

температура воздуха и давление в окружающей среде (при нормальных условиях принимается равным 10^5 Па);

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

значения токсодоз и концентраций ОХВ в воздухе, соответствующие тому или иному воздействию ОХВ на человека;

индивидуальные характеристики ОХВ в газовой и жидкой фазах (молекулярная масса, показатель адиабаты, температура кипения жидкой фазы при давлении окружающей среды, теплота испарения жидкой фазы, теплоемкость жидкой фазы, плотность жидкой фазы);

при наличии пролива в обваловку — площадь обваловки, 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;

время экспозиции для человека, попадающего в область поражения.

Кроме того, для каждого типа сценария следует знать дополнительные исходные данные по характеристикам оборудования и сценарию аварии.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

Сценарий 1

Либо Q — общая масса газообразного ОХВ 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), °С, по которым можно определить Q.

Сценарий 2

P_2 — давление в оборудовании, Па;

ρ_2 — плотность ОХВ в оборудовании, кг/м^3; либо определяется по давлению P_2 и температуре T_2 в оборудовании; либо определяется по общей массе газообразного ОХВ в оборудовании Q и объему оборудования V_2;

Q — общая масса газообразного ОХВ в оборудовании (без учета массы ОХВ в отсекаемом участке аварийного трубопровода), кг; либо V_2, T_2 — объем оборудования, м^3, и температура в оборудовании, °С, по которым вместе с давлением в оборудовании P_2, Па, можно определить Q;

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

S — площадь отверстий разгерметизации, м^2;

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

$q^{комп}$ — расход компрессора, кг/с, необходим при расчете выброса с трубопровода, на входе которого стоит компрессор, в случае, если площадь отверстия разгерметизации трубопровода превосходит 20 % поперечного сечения трубопровода;

$t_{ликвид}$ — время ликвидации отверстий разгерметизации, с;

$t_{отс}$ — для выбросов из трубопровода, если количество ОХВ 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 $t_{ликвид}$, с.

Сценарий 3

P_3 — давление в оборудовании, Па;

T_3 — температура в оборудовании, °С;

$Q^г$ — общая масса газообразного ОХВ в оборудовании, кг; либо V_3 и α — 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;

$Q^ж$ — масса жидкого ОХВ в оборудовании, кг.

Сценарий 4

P_4 — давление в оборудовании, Па;

T_4 — температура в оборудовании, °С;

ρ_4 — плотность газовой фазы ОХВ в оборудовании, кг/м^3; либо определяется по давлению P_4 и температуре T_4 в оборудовании;

H — высота, м, столба жидкости ОХВ 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;

$D_{гр}$ — диаметр трубопровода, м;

$q^{насос}$ — 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;

$t_{ликвид}$ — время ликвидации отверстий разгерметизации и пролива, с;

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

$S_{обор}$ — максимальная площадь поверхности жидкости в оборудовании, м^2;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

$Q^{ж}$ — масса, кг, жидкого ОХВ в оборудовании (при истечении из трубопровода с насосом на входе равно $Q^{ж}_{H}$), не включает в себя массу жидкого ОХВ в аварийном участке отсекаемого трубопровода;

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

$Q^{ж}_{H}$ — масса жидкого ОХВ 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);

$Q^{ж}_{тр}$ — масса жидкого ОХВ, способного поместиться в отсекаемом участке трубопровода, кг, определяется перемножением объема отсекаемого участка трубопровода на плотность жидкого ОХВ;

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

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

$Q^{г}_{отс}$ — масса газообразного ОХВ в отсекаемом участке трубопровода на момент отсечения, кг; необходима при истечении из трубопровода, если количество ОХВ в отсекаемом участке трубо-

провода составляет более 20 % общего количества выброса; определяется из геометрических характеристик оборудования, общего количества жидкого ОХВ в оборудовании перед аварией, количества ОХВ, вытекшего из оборудования до момента отсечения, и параметров газовой фазы в оборудовании;

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

$Q^*_{H^{\text{отс. тр}}}$ — масса жидкого ОХВ 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 ОХВ в отсекаемом участке трубопровода составляет более 20 % общего количества выброса; определяется из геометрических характеристик оборудования, общего количества жидкого ОХВ в оборудовании перед аварией, количества ОХВ, вытекшего из оборудования до момента отсечения, и расположения отверстия разгерметизации.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

Приложение 4

ПЕРЕЧЕНЬ РАССЧИТЫВАЕМЫХ ВЕЛИЧИН

Основными величинами, рассчитываемыми в Методике, являются:

пространственно-временное распределение концентраций, 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.

В ходе расчета также определяются: количество ОХВ, поступающее в окружающую среду, в том числе в газовой и жидкой фазах; количество ОХВ, распространяющееся в атмосфере и выпадающее на подстилающую поверхность (при наличии жидкой фазы); площадь пролива и скорость испарения ОХВ из него (при наличии жидкой фазы); при продолжительном выбросе определяются скорость и длительность поступления ОХВ в окружающую среду.

Приложение 5

УЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЭФФЕКТОВ

Для более точных расчетов допускается разбиение стадий, перечисленных в приложении 2 и используемых в Методике, на отдельные подстадии меньшей продолжительности. Для каждой подстадии в этом случае определяются входные данные, перечисленные в приложении 3, с учетом изменений в системе, происшедших на предыдущих подстадиях.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

Приложение 6

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

Пример 1. Емкость с газообразным хлором (1 т) находится при температуре 6 °С и давлении 1 атм. Емкость расположена в ровной местности (степь), размер шероховатости 0,001 м. Происходит разрыв емкости и выбрасывается весь хлор. Метеоусловия: скорость ветра 8,5 м/с, день.

Определить концентрации хлора в атмосфере, а также длину зоны химического заражения, где возможно смертельное поражение незащищенных людей на открытой местности.

Решение:

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

2. По формуле (1) определяем количество хлора в первичном облаке $Q = 1000$ кг.

3. По формуле (5) с использованием формулы (2) определяем плотность ОХВ в выбросе — 3,06 кг/м^3.

4. По формуле (7) определяем характерный радиус облака ОХВ — 4,27 м.

5. По табл. 2 приложения 7 определяем условия стабильности атмосферы — изотермия.

6. По табл. 3 и 4 приложения 7 определяем коэффициенты, используемые при расчете дисперсии:

Класс стабильности	A_1	A_2	B_1	B_2	C_3
Изотермия	0,098	0,00135	0,889	0,688	0,08

z_0, см	C_1	C_2	D_1	D_2
1	1,56	0,000625	0,048	0,045

7. По формулам (85), (104) с использованием формул (78)—(82) рассчитываем максимальную концентрацию на оси облака и максимальную токсодозу (результат расчета — рис. 1 и 2).

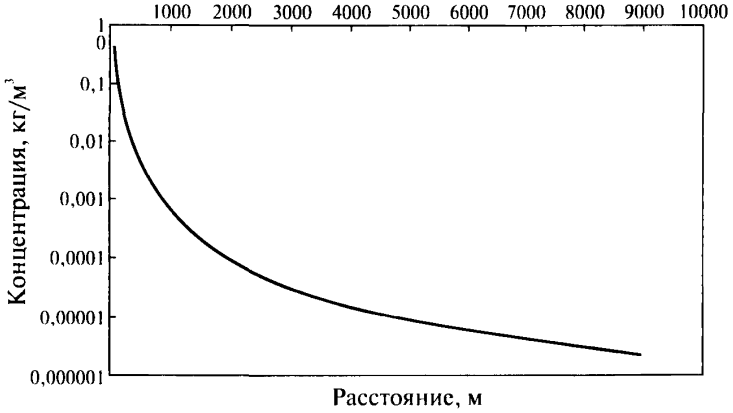

Рис. 1. Максимальная концентрация на оси облака (в направлении по ветру) при выбросе 1 т хлора (пример 1)

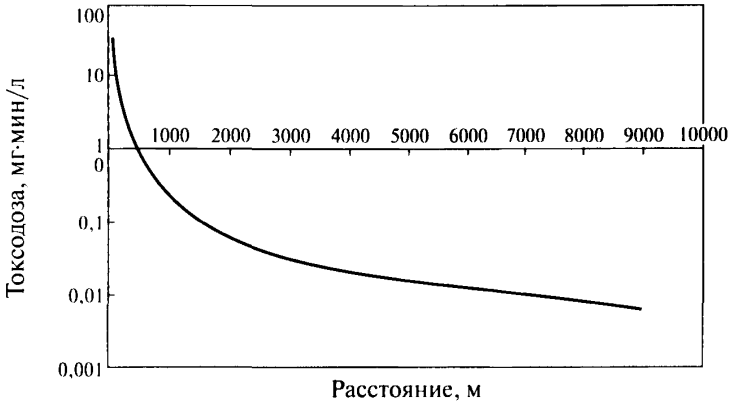

Рис. 2. Токсодоза на оси облака (в направлении по ветру) при выбросе 1 т хлора (пример 1)

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

8. По значению смертельной токсодозы для хлора 6 мг мин/л определяем протяженность зоны смертельного поражения — 185 м, а по значению пороговой токсодозы для хлора 0,6 мг мин/л определяем протяженность зоны пороговых поражений — 640 м.

Пример 2. Емкость со сжиженным аммиаком (30 т) находится при температуре 30 °С. Емкость с аммиаком расположена в ровной местности (степь), размер шероховатости 0,003 м. Аммиак находится в равновесии со своими парами (12 атм). Количество аммиака в газовой фазе в емкости незначительно. В стенке емкости в нижней части образуется отверстие диаметром 11 см. Высота слоя жидкости над отверстием разгерметизации 1 м. Весь находящийся в емкости аммиак выбрасывается в окружающую среду. Метеоусловия: скорость ветра 7,4 м/с.

Определить концентрации аммиака в атмосфере, а также длину зоны химического заражения, где возможно смертельное поражение незащищенных людей на открытой местности.

Решение:

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

2. По формуле (37) определяем скорость выброса $q_{выб} = 221$ кг/с.

3. Определяем количество газа в первичном облаке по формуле (41), оно составит незначительное количество — менее 1 кг (время формирования облака менее 1 с), и поэтому далее первичное облако не рассматривается.

4. По формуле (46) определяем расход аммиака во вторичном облаке от пролива — 43,2 + 43,2 + 22,3 = 108,8 кг/с.

5. По формуле (57) определяем длительность выброса жидкого аммиака из емкости — 135 с.

6. По формуле (60) определяем площадь пролива — 537 м^2.

7. По формуле (54) определяем скорость испарения из пролива — 22,3 кг/с.

8. Поскольку газовая фаза в емкости присутствует в незначи-

тельном количестве, ее количеством можно пренебречь, тогда согласно формуле (61) истечение газа из емкости отсутствует.

9. По формуле (65) определяем длительность испарения — 680 с.

10. По табл. 2 приложения 7 определяем условия стабильности атмосферы — изотермия.

11. По табл. 3 и 4 приложения 7 определяем коэффициенты, используемые при расчете дисперсии:

Класс стабильности	A_1	A_2	B_1	B_2	C_3
Изотермия	0,098	0,00135	0,889	0,688	0,08

z_0, см	C_1	C_2	D_1	D_2
1	1,56	0,000625	0,048	0,045

12. По формулам (78)—(82), (90) и (106) рассчитываем поле концентрации и токсодоз на этапе аварии, когда происходит выброс жидкого аммиака из емкости. Соответствующие значения концентрации и токсодозы на оси выброса приведены на рис. 3 и 4.

13. По формулам (98) и (114) рассчитываем поле концентрации и токсодоз на этапе аварии, когда происходит испарение пролива аммиака. Соответствующие значения концентрации и токсодозы на оси выброса приведены на рис. 5 и 6.

14. По формуле (117) определяем поле токсодоз на поверхности земли вдоль направления ветра. На рис. 7 приведено распределение токсодозы, набираемой за все время аварии.

15. По значению смертельной токсодозы для аммиака 150 мг·мин/л определяем протяженность зоны смертельного поражения — 180 м, по значению пороговой токсодозы для аммиака 15 мг·мин/л определяем протяженность зоны порогового поражения — 740 м.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

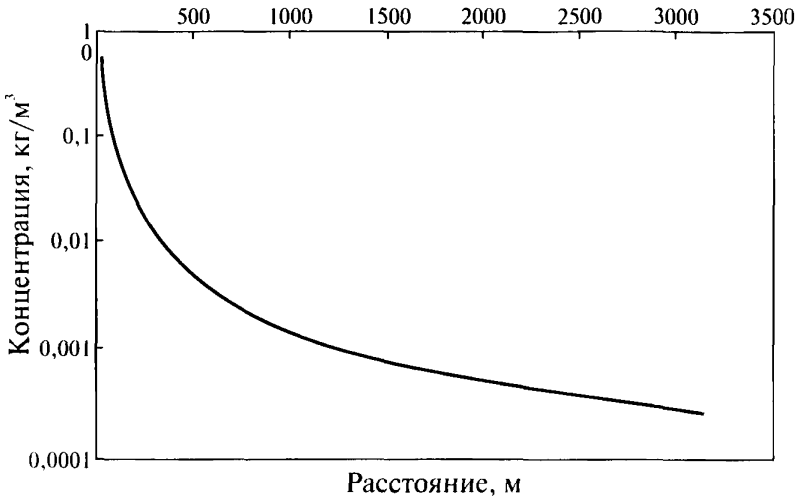

Рис. 3. Максимальная концентрация на оси облака (в направлении по ветру) при выбросе 30 т аммиака (пример 2) на стадии истечения жидкой фазы

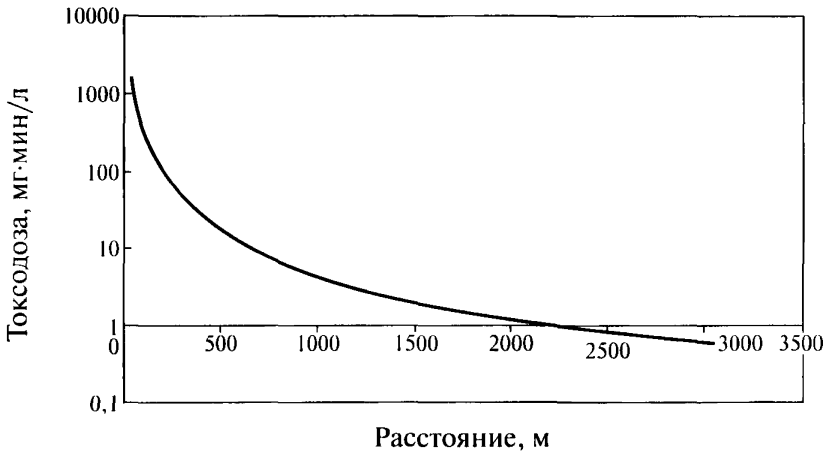

Рис. 4. Токсодоза на оси облака (в направлении по ветру) при выбросе 30 т аммиака (пример 2) на стадии истечения жидкой фазы

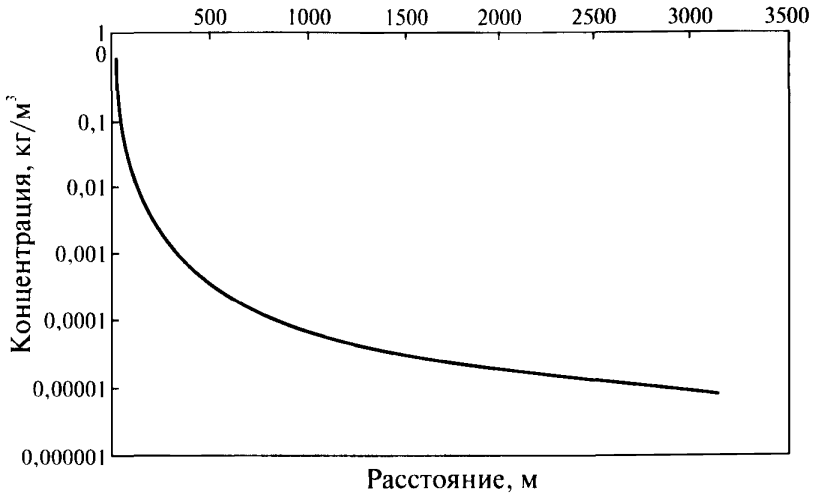

Рис. 5. Максимальная концентрация на оси облака (в направлении по ветру) при выбросе 30 т аммиака (пример 2) на стадии испарения пролива

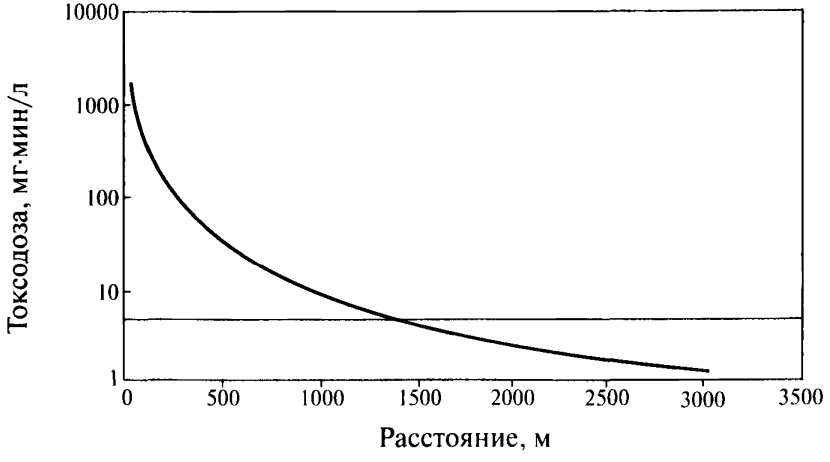

Рис. 6. Токсодоза на оси облака (в направлении по ветру) при выбросе 30 т аммиака (пример 2) на стадии испарения пролива

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

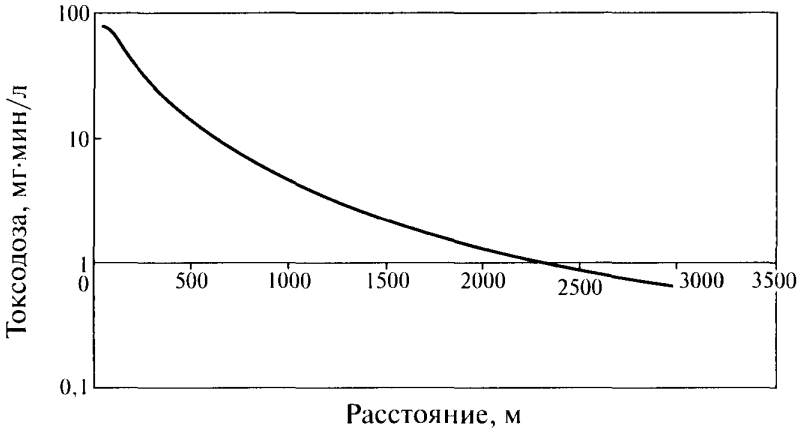

Рис. 7. Токсодоза на оси облака (в направлении по ветру) при выбросе 30 т аммиака (пример 2) за всю аварию

Приложение 7

Таблица 1

Шероховатость поверхности z_0 в зависимости от типа местности, где происходит рассеяние

Тип местности	z_0, см
Ровная местность, покрытая снегом	0,1
Ровная местность с высотой травы до 1 см	0,1
Ровная местность с высотой травы до 15 см	1
Ровная местность с высотой травы до 60 см	5
Местность, покрытая кустарником	12
Лес высотой до 10 м	40
Городская застройка	100

Таблица 2

Класс стабильности атмосферы

Скорость ветра на высоте 10 м, м/с	День			Ночь	
	Инсоляция			Тонкая сплошная обл. или >5/8 обл. покрова	Безоблачно или <3/8 обл. покрова
	интенсивная	умеренная	слабая		
$U \le 2$	Конвекция	Конвекция	Конвекция	Инверсия	Инверсия
$2 < U \le 3$	Конвекция	Конвекция	Конвекция	Инверсия	Инверсия
$3 < U \le 5$	Конвекция	Конвекция	Конвекция	Изотермия	Инверсия
$5 < U \le 6$	Конвекция	Изотермия	Изотермия	Изотермия	Изотермия
$U > 6$	Изотермия	Изотермия	Изотермия	Изотермия	Изотермия

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

Таблица 3

Величины коэффициентов A_1, A_2, B_1, B_2, C_3 в зависимости от класса стабильности атмосферы

Класс стабильности	A_1	A_2	B_1	B_2	C_3
Конвекция	0,112	0,000920	0,920	0,718	0,11
Изотермия	0,098	0,00135	0,889	0,688	0,08
Инверсия	0,0609	0,00196	0,895	0,684	0,06

Таблица 4

Величины коэффициентов C_1, C_2 , D_1, D_2 в зависимости от размера шероховатости

z_0, см	C_1	C_2	D_1	D_2
1	1,56	0,000625	0,048	0,45
4	2,02	0,000776	0,027	0,37
10	2,73	0	0	0
40	5,16	0,0538	–0,098	0,225
100	7,37	0,000233	–0,0096	0,6

Таблица 5

Максимальное значение s_z

Класс стабильности атмосферы	σ_z, м
Конвекция	640
Изотермия	400
Инверсия	220

Таблица 6

Значения характеристик подстилающих поверхностей

Тип поверхности	$\rho_п$, кг/м^3	$\lambda_п$, Вт/м/с	$c_п$, Дж/кг/°С
Бетон	2220	1,42	770
Песок	1380	0,35	840
Лед	920	2,23	2080

Таблица 7

Свойства ОХВ

Вещество	Молярная масса μ	Плотность газа $\rho_г$, кг/м^3	Плотность жидк. $\rho_ж$, кг/м^3	Температура кип. $T_{кип}$, °С	Теплоемкость C_p, кДж/кг/°С	Коэффициент C_p/C_v, γ	Пороговая токсодоза PCt_{50}, мг·мин/л	Смертельная токсодоза LCt_{50}, мг·мин/л	Теплота испарения $\Delta H_{исп}$, кДж/кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Аммиак	17,0	0,8	681	–33,4	4,6	1,34	15,0	150	1360
Мышьяковистый водород	77,9	3,5	1640	–62,5	0,5	1,3	0,2	6	242
Фтористый водород	20,4	0,92	989	19,4	1,42	1,3	4,0	40	1560
Хлористый водород	36,5	1,64	1191	–85,1	0,8	1,41	2,0	20	300
Бромистый водород	80,9	3,50	1490	–67,8	0,36	1,42	2,4	24	217
Цианистый водород	27,0	0,9	689	25,6	1,33	1,31	0,2	6	933

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2010

Окончание табл. 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сероводород	34,1	1,5	964	−60,4	1,04	1,3	1,0	15	310
Сероуглерод	76,1	6,0	1263	46,2	0,67	1,24	30,0	500	352
Формальдегид	30	1,03	815	−19,3	1,32	1,3	0,6	6	273
Фосген	98,9	3,48	1420	8,2	0,67	1,3	0,55	3,2	158
Фтор	38,0	1,7	1512	−188,0	3,32	1,3	0,2	3	727
Хлор	70,1	3,2	1553	−34,1	0,96	1,3	0,6	6	288
Хлорциан	61,5	2,1	1258	12,6	0,73	1,3	0,75	11	208
Окись углерода	28	0,97	1000	−191,6	1,04	1,29	10,0	37,5	216
Окись этилена	44	1,7	882	10,7	1,72	1,3	2,2	25	320

По вопросам приобретения
нормативно-технической документации
обращаться по тел./факсам:
(495) 620-47-53, 984-23-56, 984-23-57, 984-23-58, 984-23-59
E-mail: gost.e-ecolog.ru

Подписано в печать 27.09.2010. Формат 60×84 1/16.
Гарнитура Times. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Объем 13,0 печ. л.
Заказ № 464.
Тираж 40 экз.

Закрытое акционерное общество
«Научно-технический центр исследований
проблем промышленной безопасности»
105082, г. Москва, Переведеновский пер., д. 13, стр. 21

gost.e-ecolog.ru

Отпечатано в ООО «Полимедиа»
105082, г. Москва, Переведеновский пер., д. 18, стр. 1