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

Серия 27

Декларирование промышленной безопасности и оценка риска

Выпуск 10

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ «МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДАХ, СВЯЗАННЫХ С ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНЫХ ГАЗОВ»

2015

электронной документации

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

Серия 27
Декларирование промышленной
безопасности и оценка риска

Выпуск 10

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ «МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДАХ, СВЯЗАННЫХ С ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНЫХ ГАЗОВ»

Москва
ЗАО НТЦ ПБ
2015

ББК 30н
Р85

Р85 **Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов». Серия 27. Выпуск 10.** — М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2015. — 48 с.

ISBN 978-5-9687-0673-7.

Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов» разработано в целях содействия соблюдению требований федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» и «Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта».

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

Руководство содержит рекомендации к количественной оценке риска аварий для обеспечения требований промышленной безопасности при проектировании, строительстве, капитальном ремонте, техническом перевооружении, реконструкции, эксплуатации, консервации и ликвидации технологических трубопроводов, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов.

ББК 30н

ISBN 978-5-9687-0673-7

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

СОДЕРЖАНИЕ

Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 сентября 2015 г. № 365 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов» 5

Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов» 6

I. Общие положения 6

II. Общие рекомендации по оценке риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов 7

III. Планирование и организация работ 8

IV. Идентификация опасностей аварий 9

V. Оценка риска аварий 11

VI. Определение степени опасности технологических трубопроводов, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов 14

VII. Рекомендации по снижению риска аварий 15

Приложение № 1. Список сокращений 18

Приложение № 2. Термины и определения 19

Приложение № 3. Исходная информация, необходимая для оценки степени риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов 21

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

Приложение № 4. Рекомендации по выделению типовых сценариев аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов 25

Приложение № 5. Частоты аварийной разгерметизации типового оборудования на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов 32

Приложение № 6. Рекомендуемый порядок расчета истечения пожаровзрывоопасных газов из технологических трубопроводов 36

Приложение № 7. Методические документы для оценки возможных последствий аварий 40

Приложение № 8. Условные вероятности воспламенения аварийных выбросов взрывопожароопасных веществ с учетом размещения источников зажигания 41

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

ПРИКАЗ

17 сентября 2015 г. № 365

Москва

Об утверждении Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов»

В целях реализации Положения о Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 30 июля 2004 г. № 401, приказываю:

Утвердить прилагаемое Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов».

Руководитель **А.В. Алёшин**

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

Утверждено
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 17 сентября 2015 г. № 365

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ
«Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов»

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов» (далее — Руководство) разработано в целях содействия соблюдению требований Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», утвержденных приказом Ростехнадзора от 11 марта 2013 г. № 96 (зарегистрирован Минюстом России 16 апреля 2013 г., регистрационный № 28138), и требований Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта», утвержденных приказом Ростехнадзора от 15 июля 2013 г. № 306 (зарегистрирован Минюстом России 20 августа 2013 г., регистрационный № 29581).

2. Руководство распространяется на технологические трубопроводы, эстакады, средства транспортирования, связанные с перемещением взрывопожароопасных газов внутри промышленных площадок опасных производственных объектов.

3. Настоящее Руководство содержит рекомендации к количественной оценке риска аварий (далее — оценка риска) для обеспечения требований промышленной безопасности при проек-

тировании, строительстве, капитальном ремонте, техническом перевооружении, реконструкции, эксплуатации, консервации и ликвидации технологических трубопроводов, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов.

4. Организации, осуществляющие оценку риска аварий, могут использовать иные обоснованные способы и методы, чем те, которые указаны в настоящем Руководстве.

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

II. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ РИСКА АВАРИЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДАХ, СВЯЗАННЫХ С ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНЫХ ГАЗОВ

6. Основные методические принципы и общие рекомендации к процедуре анализа опасностей и оценки риска аварий установлены в Методических основах по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах, утвержденных приказом Ростехнадзора от 13 мая 2015 г. № 188 (далее — Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на ОПО).

7. Общая процедура оценки риска включает: анализ опасностей, планирование и организацию работ, идентификацию опасностей, определение степени опасности технологических трубопроводов, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов и (или) их участков, разработку рекомендаций по уменьшению рисков.

8. Исходные данные, сделанные допущения и предположения, результаты оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, должны быть обоснованы и документально зафиксированы в объеме, достаточном для того, чтобы выполненные расчеты и выво-

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

ды могли быть повторены и проверены в ходе независимого аудита или экспертизы.

9. Общие рекомендации к оформлению результатов оценки риска аварий приведены в Методических основах по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на ОПО.

III. ПЛАНИРОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ

10. На этапе «Планирование и организация работ» необходимо конкретизировать цели проведения оценки риска аварий на ОПО, определить полноту, детальность и ограничения планируемой процедуры по оценке риска аварий, выбрать показатели риска и установить критерии допустимого и приемлемого риска.

11. Основанием к выбору показателя и определению критерия допустимого и приемлемого риска аварии является его обоснованность и определенность. Показатели и критерии допустимого и приемлемого риска следует определять исходя из совокупности условий, включающих требования промышленной безопасности и уровень имеющейся опасности аварий, характеризуемый фоновыми показателями риска аварий.

12. Для оценки опасности аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, могут использоваться показатели, характеризующие возможное число пострадавших и погибших при авариях, ущерб от возможных аварий, а также показатели риска гибели людей и риска причинения материального и экологического ущерба в интегральных и удельных (на единицу длины технологического трубопровода) показателях. Полный перечень показателей опасности аварий приведен в Методических основах по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на ОПО. Перечень рассчитываемых показателей риска аварий определяется соответствующими задачами оценки риска аварий на ОПО.

13. Интегральные показатели риска аварии рекомендуется представлять в виде значений, рассчитанных для каждого участка

(составной части) анализируемого технологического трубопровода, а также просуммированных для всех технологических трубопроводов, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, или для всего ОПО.

14. При принятии решения о размещении технологических трубопроводов, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, на этапе проектирования рекомендуется рассматривать следующие основные количественные показатели риска аварий: потенциальный риск гибели человека $R_{пот}$, социальный риск (*FN*-кривая), частота эскалации аварий.

15. Для оценки риска аварий на этапе эксплуатации технологических трубопроводов, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, для принятия организационно-технических мер обеспечения безопасности рекомендуется рассматривать следующие основные количественные показатели риска аварий: индивидуальный риск $R_{инд}$, коллективный риск $R_{колл}$, социальный риск (*FN*-кривая).

16. Рассчитанные показатели риска аварий используются для ранжирования участков (составных частей) технологических трубопроводов, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, по степени опасности и обоснования приоритетов в мероприятиях по обеспечению безопасного функционирования технологического трубопровода (риск-ориентированный подход).

IV. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПАСНОСТЕЙ АВАРИЙ

17. Основная задача идентификации опасностей аварий — выявление и четкое описание всех источников опасностей аварий (участков и составных частей анализируемого технологического трубопровода, на которых обращаются опасные вещества) и сценариев их реализации.

18. На этапе «Идентификация опасностей аварий» необходимо:

а) провести сбор и оценку достоверности исходной информации, необходимой для оценки риска аварий на технологических

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов. Исходная информация, необходимая для оценки степени риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, приведена в приложении № 3 к настоящему Руководству;

б) произвести деление анализируемого технологического трубопровода на участки (составные части);

в) провести анализ условий возникновения и развития аварий, определить группы характерных сценариев аварий.

19. На технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, в качестве участков (составных частей) рекомендуется рассматривать выделенные по технологическому или административно-территориальному принципу участки технологических трубопроводов и сливоналивные эстакады (внутри промплощадок).

20. При анализе причин возникновения аварийных ситуаций на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, рекомендуется рассматривать отказы (неполадки) технических устройств, ошибочные или несвоевременные действия персонала, внешние воздействия природного и техногенного характера с учетом:

а) отказов технических устройств, связанных с типовыми процессами, физическим износом, коррозией, выходом технологических параметров на предельно допустимые значения, прекращением подачи энергоресурсов (электроэнергии, пара, воды, воздуха), нарушением работы систем и (или) средств управления и контроля;

б) ошибочных действий персонала, связанных с отступлением от установленных параметров технологического регламента ведения производственного процесса, нарушением режима эксплуатации производственных установок и оборудования, недостаточным контролем (или отсутствием контроля) за параметрами технологического процесса;

в) внешних воздействий природного и техногенного характера, связанных с землетрясениями, паводками и разливами, несанкци-

онированным вмешательством в технологический процесс, диверсиями или террористическими актами, авариями или другими техногенными происшествиями на соседних объектах.

21. Рекомендации по выделению типовых сценариев аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, представлены в приложении № 4 к настоящему Руководству.

V. ОЦЕНКА РИСКА АВАРИЙ

22. Количественная оценка риска аварий включает оценку частоты возможных сценариев аварий, оценку возможных последствий по рассматриваемым сценариям аварий, расчет показателей риска аварий.

23. Частоты разгерметизации оборудования (технических устройств) рекомендуется оценивать согласно Методическим основам по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на ОПО. Частоты аварийной разгерметизации типового оборудования на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, приведены в приложении № 5 к настоящему Руководству.

24. Для оценки частот разгерметизации сложных технических устройств рекомендуется использовать метод анализа деревьев отказов (ГОСТ Р 27.302–2009 «Надежность в технике. Анализ дерева неисправностей»), построение моделей отказов (ГОСТ Р 27.004–2009 «Надежность в технике. Модели отказов») с анализом их последствий (ГОСТ Р 51901.12–2007 «Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов»).

25. Для определения условной вероятности сценария аварии рекомендуется использовать метод построения деревьев событий в соответствии с Методическими основами по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на ОПО.

26. При определении сценариев на последних этапах развития аварий рекомендуется учитывать сочетание последовательных сценариев или «эффект домино».

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

27. Оценка возможных последствий аварий проводится по результатам определения вероятных зон действия поражающих факторов и причиненного ущерба от аварий (в первую очередь количества пострадавших и погибших).

28. Зоны действия поражающих факторов определяются на основе:

а) оценки количества опасного вещества, участвующего в создании поражающих факторов аварий;

б) расчета количественных параметров, характеризующих действие поражающих факторов (давление и импульс для ударных волн, интенсивность теплового излучения для пламени, размеры пламени и зоны распространения высокотемпературной среды при термическом воздействии, дальность дрейфа облака ТВС до источника зажигания);

в) сравнения рассчитанных количественных параметров с критериями поражения (разрушения).

29. Для определения количества опасного вещества, участвующего в аварии, рекомендуется учитывать деление технологического оборудования и трубопроводов на изолируемые запорной арматурой секции (участки); интервал срабатывания отсекающих устройств; влияние волновых гидродинамических процессов на режим истечения опасного вещества для протяженных трубопроводных систем (длиной более 500 м).

30. Массу аварийного выброса опасных веществ рекомендуется определять с учетом перетоков от соседних аппаратов (участков) в течение времени обнаружения выброса и перекрытия запорной арматуры (задвижек) с учетом массы стока вещества из отсеченного блока (трубопровода). При отсутствии достоверных сведений о массе аварийного выброса время обнаружения выброса и перекрытия задвижек рекомендуется принимать равным 600 секундам в случае наличия средств противоаварийной защиты и системы обнаружения утечек и 1800 секундам в случае их отсутствия.

31. Рекомендуемый порядок расчета истечения пожаровзрывоопасных газов из технологических трубопроводов приведен в приложении № 6 к настоящему Руководству.

32. Оценку возможных последствий аварий рекомендуется проводить на основе методических документов, указанных в таблице № 7-1 приложения № 7 к настоящему Руководству.

33. Для расчета размеров зон поражения людей и разрушения зданий, сооружений рекомендуется использовать критерии поражения, приведенные в Методических основах по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на ОПО.

34. Для оценки гибели людей при пожарах в помещениях, в том числе от отравления токсичными продуктами горения, с учетом их эвакуации рекомендуется использовать методы определения времени от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара и расчетного времени эвакуации, описанные в приложении № 5 к Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах, утвержденной приказом МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404.

35. При оценке количества погибших от переохлаждения при проливах испаряющихся сжиженных углеводородных газов рекомендуется принимать, что погибают все люди, оказавшиеся в зоне пролива.

36. Число пострадавших от аварии определяется числом людей, оказавшихся в превалирующей зоне действия поражающих факторов (исходя из принципа «поглощения большей опасностью всех меньших опасностей»). Порядок расчета ожидаемого числа пострадавших приведен в Методических основах по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на ОПО.

37. Величина ожидаемого ущерба при авариях определяется в соответствии с Методическими рекомендациями по оценке ущерба от аварий на ОПО, утвержденными постановлением Госгортехнадзора России от 29 октября 2002 г. № 63 (РД 03-496–02).

38. При оценке опасности каскадного развития аварий («эффект домино») следует учитывать критерии устойчивости оборудования, зданий, сооружений, приведенные в Методических основах по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на ОПО.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

39. При определении условной вероятности воспламенения аварийных выбросов взрывопожароопасных веществ рекомендуется учитывать размещение источников зажигания по близлежащей территории (приложение № 8 к настоящему Руководству).

40. При отсутствии сведений о распределении источников воспламенения и вероятности зажигания облака расчет зон поражения при взрыве облаков ТВС рекомендуется выполнять из условия воспламенения облака в момент времени, когда облако ТВС достигает наибольшей массы, способной к воспламенению.

41. Расчет количественных показателей риска аварий осуществляется по алгоритмам, изложенным в Методических основах по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на ОПО.

VI. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ, СВЯЗАННЫХ С ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНЫХ ГАЗОВ

42. Для установления степени опасности аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, определения их наиболее опасных участков (составных частей) проводятся сопоставительные сравнения рассчитанных значений показателей риска аварии с:

значениями риска аварий на других участках (составных частях) технологического трубопровода;

фоновым риском аварий (среднеотраслевым риском аварий для аналогичных объектов или фоновым риском гибели людей в техногенных происшествиях);

допустимым уровнем риска аварий, установленным в нормативных документах или с требующимся уровнем риска аварий, обоснованным на этапе планирования и организации работ;

значениями риска аварий до и после возможных и фактических отступлений от требований промышленной безопасности, а также

до и после возможного и фактического внедрения компенсирующих мероприятий.

Необходимость и полнота сравнительных оценок определяется задачами анализа риска.

43. Рекомендуемый порядок и основные способы установления степени опасности аварий на ОПО, ранжирования составных элементов ОПО по степени опасности и определения наиболее опасных составных элементов ОПО, сравнения рассчитанных значений риска аварий с соответствующим допустимым или фоновым уровнем, а также использования результатов анализа риска для обоснования безопасности ОПО представлены в Методических основах по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на ОПО.

44. При определении степени опасности технологических трубопроводов, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, приоритетными являются относительные сопоставления характерных опасностей по показателям риска аварий, а не оценка соответствия рассчитанных значений риска аварии требуемым абсолютным уровням риска аварий.

45. Определение степени опасности технологических трубопроводов, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, их наиболее опасных участков (составных частей) необходимы для разработки обоснованных адресных рекомендаций по снижению риска аварий на ОПО.

VII. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ РИСКА АВАРИЙ

46. Разработка рекомендаций по снижению риска аварий является заключительным этапом процедуры оценки риска аварии. Рекомендации должны основываться на результатах идентификации опасностей аварий, количественной оценке риска аварий и определении степени опасности участков технологических трубопроводов, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

47. Рассчитанные показатели риска аварий на участках технологических трубопроводов, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, используются для обоснования приоритетов в мероприятиях по оптимальному обеспечению безопасного функционирования ОПО в условиях опасности возможного возникновения промышленных аварий (риск-ориентированный подход).

48. Необходимость разработки рекомендаций по снижению риска аварий определяется ранжированием участков (составных частей) технологических трубопроводов, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, по степени опасности и обусловлена имеющимися ресурсами на внедрение дополнительных мероприятий (мер, групп мер) обеспечения безопасности технического и (или) организационного характера.

49. Рекомендации по снижению риска аварий разрабатываются в форме проектных решений или планируемых мероприятий (мер, групп мер) обеспечения безопасности технического и (или) организационного характера.

50. Для оценки эффективности возможных мер (групп мер) обеспечения безопасности решают следующие альтернативные оптимизационные задачи:

а) при заданных ресурсах выбирают оптимальную группу мер безопасности, обеспечивающих максимальное снижение риска аварий на ОПО;

б) минимизируя затраты, выбирают оптимальную группу мер безопасности, обеспечивающих снижение риска аварий до значений, исключающих долгосрочную эксплуатацию чрезвычайно опасных участков ОПО.

51. В рамках риск-ориентированного подхода можно выделить две группы мер обеспечения безопасности: организационно-технические мероприятия, направленные на уменьшение вероятности возникновения аварий, и меры, направленные на смягчение тяжести последствий аварий.

52. Меры по уменьшению вероятности возникновения аварий включают:

а) меры по уменьшению вероятности возникновения инцидента (разгерметизации оборудования);

б) меры по уменьшению вероятности перерастания инцидента в аварийную ситуацию (появления поражающих факторов).

53. Меры по уменьшению тяжести последствий аварий включают:

а) меры, предусматриваемые при проектировании ОПО (например, выбор несущих конструкций, запорной арматуры);

б) меры, относящиеся к системам противоаварийной защиты и контроля (например, применение газоанализаторов);

в) меры, касающиеся готовности эксплуатирующей организации к локализации и ликвидации последствий аварий.

54. Среди решений, направленных на предупреждение аварийных выбросов опасных веществ (уменьшение вероятности аварий) на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, следует отметить:

применение материалов повышенной прочности, повышение толщин стенок сосудов и трубопроводов;

использование защитных кожухов;

повышенную частоту диагностики, испытаний на прочность и герметичность;

повышение чувствительности и надежности систем контроля технологических процессов и блокировок.

55. Среди решений, направленных на уменьшение тяжести последствий аварий, выделяют:

установление безопасных расстояний до мест скопления персонала (сокращение времени пребывания персонала в опасной зоне);

ограничение площадей возможных аварийных разливов за счет возведения инженерных сооружений (системы аварийных лотков, дренажных емкостей);

планировочные решения, исключающие эскалацию аварий;

повышение взрывозащищенности зданий и сооружений на территории ОПО;

установку датчиков загазованности;

информирование персонала об опасностях аварий.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

Приложение № 1
к Руководству

Список сокращений

В настоящем Руководстве используются следующие сокращения:

ВВС — воздушная волна сжатия;

ОПО — опасный производственный объект;

ТВС — топливно-воздушная смесь.

Приложение № 2
к Руководству

Термины и определения

Основные термины и определения анализа риска установлены в Методических основах по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на ОПО.

В настоящем Руководстве используются следующие термины с соответствующими определениями:

авария — разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на ОПО, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ;

взрыв — неконтролируемый быстропротекающий процесс выделения энергии, связанный с физическим, химическим или физико-химическим изменением состояния вещества, приводящий к резкому динамическому повышению давления или возникновению ударной волны, сопровождающийся образованием сжатых газов, способных привести к разрушительным последствиям;

взрывопожароопасные газы — горючие газы, в том числе сжиженные углеводородные газы;

дерево отказов — логическая схема причинно-следственных закономерностей возникновения аварии, показывающая последовательность и сочетание различных событий (отказов, ошибок, нерасчетных внешних воздействий), возникновение которых может приводить к разгерметизации и последующей аварийной ситуации;

дерево событий — графическое отображение причинно-следственных закономерностей развития аварии по отдельным сценариям (например, аварии с разгерметизацией оборудования в зависимости от условий могут развиваться как с воспламенением, так и без воспламенения взрывопожароопасного вещества). Частота каждого сценария развития аварии рассчитывается путем умножения частоты инициирующего события на условную вероятность конечного события;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

огненный шар — крупномасштабное диффузионное пламя, реализуемое при сгорании парогазового облака с концентрацией горючего выше верхнего концентрационного передела распространения пламени. Такое облако может быть реализовано, например, при разрыве резервуара с горючей жидкостью или газом под давлением с воспламенением содержимого резервуара;

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

поражающий фактор аварии — термическое, барическое (ударно-волновое), токсическое и иное воздействие, проявляющееся при возникновении аварии и способное привести к ущербу;

сценарий аварии — последовательность отдельных логически связанных событий, обусловленных конкретным инициирующим (исходным) событием, приводящим к определенным опасным последствиям аварии;

эскалация аварии («эффект домино») — возникновение аварии на сооружении (технологической установке) ОПО с выбросом опасного вещества вследствие аварии на ином (соседнем) сооружении (технологической установке).

Приложение № 3
к Руководству

Исходная информация, необходимая для оценки степени риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов

Сбор исходной информации, необходимой для анализа риска, осуществляется с использованием имеющихся документов, в том числе предпроектных, проектных, эксплуатационных документов, материалов инженерных изысканий и других документов.

При выполнении оценки степени риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, первоочередными источниками исходных данных являются результаты проведения оценки технического состояния ОПО на соответствие требованиям нормативных технических документов.

Типовой перечень основной исходной информации, необходимой для проведения работ по оценке степени риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, включает[1]:

1) генеральный план расположения технологических трубопроводов, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов.

Планы расположения технологических трубопроводов, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, представлять с прилегающей территорией до 1000 м. Планы расположения основного технологического оборудования, зданий и сооружений следует представлять с экспликацией с указанием высотных отметок или нанесенными изолиниями;

2) данные о численности, сменности персонала (численность в максимальную (дневную) и минимальную (ночную) смены) и его размещении по зданиям, сооружениям, производственным площадкам (в соответствии с экспликацией);

[1] Перечень может быть уточнен, расширен в соответствии с действующей проектной и эксплуатационной документацией.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

3) перечень иных объектов эксплуатирующей организации, объектов сторонних предприятий (организаций), населенных пунктов, мест отдыха, транспортных путей, расположенных на расстоянии до 1000 м от технологических трубопроводов, транспортирующих взрывопожароопасные газы, с указанием их расположения и численности работающих (проживающих);

4) краткое описание технологического процесса. Технологические схемы с указанием потоков, задвижек и средств контрольно-измерительных приборов и автоматики. Давление, расход и температура перекачиваемых взрывопожароопасных газов;

5) перечень технологического оборудования для транспортирования взрывопожароопасных газов, его характеристика:

диаметр, протяженность технологических трубопроводов, высотный профиль трубопроводных эстакад, характеристики и расположение трубопроводной арматуры;

характеристики сливоналивных эстакад (протяженность, производительность налива, количество одновременно разгружаемых (загружаемых) цистерн);

протяженность железнодорожных путей и автодорог для перевозки взрывопожароопасных сжиженных газов.

Перечень основного технологического оборудования, в котором обращаются опасные вещества, следует представлять в виде таблицы, аналогичной таблице № 3-1;

Таблица № 3-1

Перечень основного технологического оборудования, в котором обращаются опасные вещества

Номер позиции по плану расположения	Наименование оборудования, материал	Количество, шт.	Расположение	Назначение	Техническая характеристика

6) данные о распределении опасных веществ по оборудованию и трубопроводам площадочных объектов — аппаратам (емкостям), трубопроводам с указанием максимального количества в единичной емкости или участке трубопровода наибольшей вместимости), вместимость цистерн и общий грузооборот взрывопожароопасных газов следует представлять в виде таблицы, аналогичной таблице № 3-2. Следует рассматривать смежное оборудование (резервуары, емкости) для учета возможности поступления пожаровзрывоопасных газов из сопряженных блоков;

Таблица № 3-2

Данные о распределении опасных веществ по оборудованию и трубопроводам площадочных объектов

Технологический блок, оборудование			Количество опасного вещества, т		Физические условия содержания опасного вещества		
номер блока	наименование оборудования, № по схеме, опасное вещество	количество единиц оборудования, шт.	в единице оборудования	в блоке	агрегатное состояние	давление, МПа	температура, °С

7) основные характеристики опасных веществ. Для пожаровзрывоопасных газов следует указать следующие характеристики:

компонентный состав (при условиях хранения (транспортировки));

физические свойства (молекулярный вес, плотность, температура кипения, вязкость, давление насыщенных паров);

данные о взрывопожароопасности (пределы взрываемости, температура вспышки и самовоспламенения);

данные о токсичности (предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны и атмосферном воздухе, летальная и пороговая токсодозы);

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

8) средства автоматизации и контроля технологических процессов на трубопроводах и сливоналивных эстакадах. Описание систем автоматического регулирования, блокировок, сигнализации и других средств противоаварийной защиты, а также системы обнаружения утечек включает:

чувствительность и время срабатывания системы обнаружения аварийных утечек в зависимости от объема (или расхода) аварийной утечки;

тип и время перекрытия потока запорной арматурой;

возможность поступления пожаровзрывоопасных газов из смежного оборудования (резервуары, емкости);

9) описание решений, направленных на обеспечение взрывопожаробезопасности, должно содержать:

размеры и вместимость защитных обвалований и отбортовок технологических площадок;

размеры защитных ограждений, приподнятости внутриплощадочных дорог;

состав и расположение средств первичного пожаротушения, системы пожаротушения;

10) климатическую характеристику района расположения ОПО.

Для районов расположения технологических трубопроводов следует представлять данные среднемесячных температур воздуха, скорости ветра, годовых повторяемостей направлений ветра и повторяемостей состояний устойчивости атмосферы (в классификации по Паскуиллу). Указанные данные следует представлять в виде таблиц со ссылкой на источник информации (метеостанция) и период наблюдений;

11) стоимость производственных фондов ОПО, себестоимость продукта;

12) перечень аварий и инцидентов, имевших место на данном ОПО.

Приложение № 4
к Руководству

Рекомендации по выделению типовых сценариев аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов

На технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, рекомендуется рассматривать следующие типовые сценарии аварий:

а) разгерметизация технологических трубопроводов на эстакаде (пожар колонного типа в загроможденном пространстве или струевые пламена);

б) сход (разрушение) цистерны (группы цистерн) со сжиженным взрывопожароопасным газом.

А. Разгерметизация технологического трубопровода на эстакаде

А.1. Пожар колонного типа в загроможденном пространстве

Пожар колонного типа рекомендуется рассматривать в виде ряда последовательных стадий:

1) разрыв надземного технологического трубопровода при наличии вблизи места разрыва преграды (оборудования, сооружения, здания);

2) образование ВВС в момент разрыва;

3) разлет фрагментов трубы;

4) истечение струй газа из концов разорванного трубопровода и их взаимодействие с окружающими преградами, ограничивающими динамическое распространение струй газа;

5) воспламенение образовавшейся газовоздушной смеси с возникновением в условиях загроможденного пространства пожара колонного типа;

6) несрабатывание или безуспешная отработка систем пожаротушения;

7) термическое воздействие пожара на технологическое оборудование, здания и сооружения площадочного объекта, а также на персонал, оказавшийся вне помещений;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

8) возможное каскадное развитие аварии при воздействии поражающих факторов на оборудование под давлением, емкости и аппараты, содержащие сжиженный газ, с распространением поражающих факторов за пределы объекта;

9) разрушение или повреждение оборудования, зданий и сооружений на ОПО и, возможно, имущества третьих лиц и компонентов природной среды за пределами ОПО, гибель или получение людьми (персоналом и, возможно, населением) ожогов различной степени тяжести, а также травм от действия ВВС, осколков.

А.2. Струевые пламена

Струевые пламена рекомендуется рассматривать в виде ряда последовательных стадий:

1) разрыв надземного наружного технологического трубопровода;

2) образование ВВС в момент разрыва;

3) разлет фрагментов трубы;

4) истечение газа из концов разорванного технологического трубопровода в виде высокоскоростных струй;

5) воспламенение истекающего газа с образованием высокоскоростных струй пламени (факелов);

6) несрабатывание или безуспешная отработка систем пожаротушения;

7) свободная ориентация факелов в горизонтальной плоскости;

8) прямое и радиационное термическое воздействие пожара на технологическое оборудование, здания и сооружения площадочного объекта, а также на людей, оказавшихся вне помещений;

9) возможное каскадное развитие аварии при воздействии поражающих факторов на оборудование под давлением, емкости и аппараты, содержащие сжиженный газ, с распространением поражающих факторов за пределы объекта;

10) разрушение или повреждение оборудования, зданий и сооружений на ОПО и, возможно, имущества третьих лиц и компонентов природной среды за пределами ОПО, гибель или получение

людьми (персоналом и, возможно, населением) ожогов различной степени тяжести, а также травм от действия ВВС, осколков.

Типовое дерево событий при разгерметизации участка надземного технологического трубопровода (газопровода) приведено на рисунке 4-1.

На рисунке 4-1 и на всех последующих рисунках деревьев событий не представлены ветвления, связанные с действиями по тушению (ликвидации) пожара. Такое ветвление происходит по двум путям:

а) прекращение пожара в случае успешных действий;

б) продолжение пожара в случае неудачи.

Данное ветвление должно учитываться при расчете условных вероятностей конечных событий, что достигается путем умножения соответствующей условной вероятности на условную вероятность успешности тушения пожара. Процедура выполняется для каждой ветви дерева событий, на которой предпринимается соответствующее действие.

Б. Сход (разрушение) цистерны (группы цистерн) со сжиженным взрывопожароопасным газом

Данный сценарий рекомендуется рассматривать в виде ряда последовательных стадий:

1) частичное или полное разрушение цистерны, группы цистерн (в случае их схода) со сжиженным газом;

2) поступление сжиженного газа в окружающую среду;

3) образование и распространение пролива сжиженного газа и его частичное испарение;

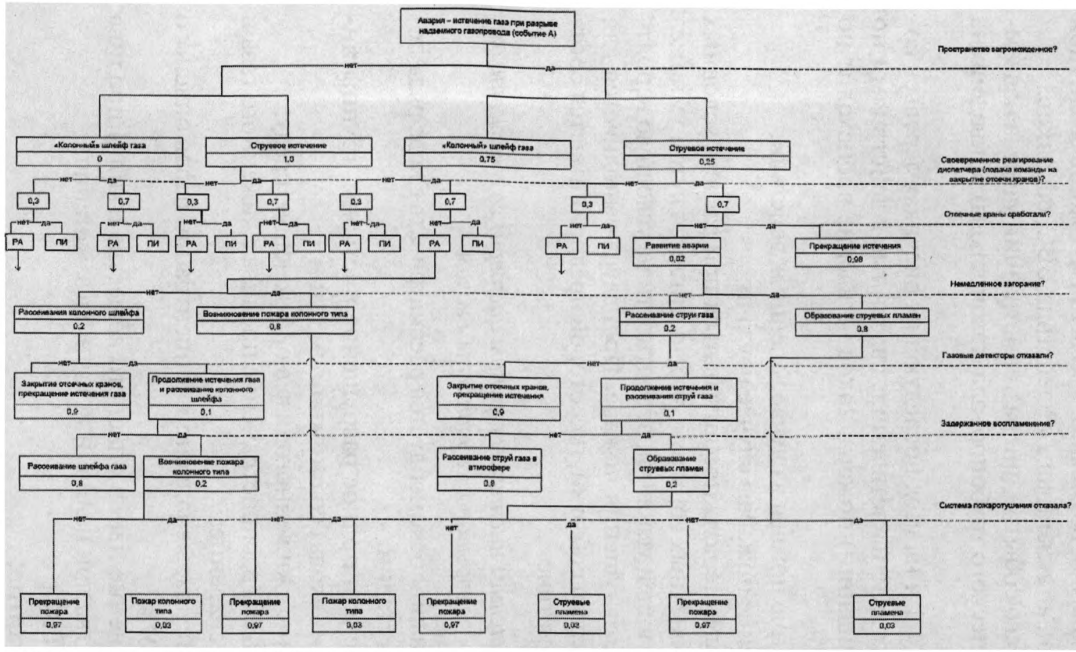
4) образование взрывоопасной концентрации паров опасного вещества в воздухе;

5) воспламенение паров опасного вещества и (или) пролива опасного вещества при наличии источника зажигания;

6) сгорание ТВС;

7) пожар разлития;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015



РА – развитие аварии; ПИ – прекращение истечения; числа обозначают условные вероятности промежуточных событий.

Приведенные условные вероятности могут быть скорректированы с учетом дополнительных решений, направленных на снижение риска аварий.

Рис. 4-1. Дерево событий при разгерметизации надземного технологического трубопровода (газопровода)

8) попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя, токсичные продукты исходного выброса либо продукты горения, барическое воздействие) людей, оборудования, зданий, сооружений, соседних цистерн;

9) последующее развитие (эскалация) аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества, в том числе взрывы соседних цистерн с образованием огненного шара.

Дерево событий при разрушении емкости под давлением для сценария «Сход (разрушение) цистерны (группы цистерн)» приведено на рисунке 4-2. Конечные ветви дерева событий, отмеченные словами «Прекращение аварии», при наличии в этих сценариях горения будут сопровождаться воздействиями, перечисленными выше в описании сценариев.

В случае если такое воздействие приводит к дополнительному выбросу сжиженных взрывопожароопасных газов и (или) появлению новых очагов горения, в том числе на соседних цистернах, то соответствующая конечная ветвь на приведенном дереве событий будет служить отправной точкой нового дерева событий данной аварийной ситуации.

Принимаются следующие условные вероятности событий:

а) резервуар сохраняет целостность после появления разрушения (a) — 0,95;

б) разрушение ниже уровня жидкости (b) — пропорционально отношению средней высоты уровня жидкости (взлива) к высоте резервуара (если нет данных — принимается 0,8);

в) мгновенное воспламенение и образование горящих проливов (факелов) (c) — 0,05 для истечения жидкой фазы (отверстие ниже уровня жидкости); 0,2 — для истечения газовой фазы (отверстие выше уровня жидкости);

г) образование дрейфующего облака ТВС (d) — 1;

д) появление на пути дрейфующего облака источника зажигания (e) — 0,05 для истечения жидкой фазы (отверстие ниже уровня жидкости); 0,2 — для истечения газовой фазы (отверстие выше уровня жидкости).

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

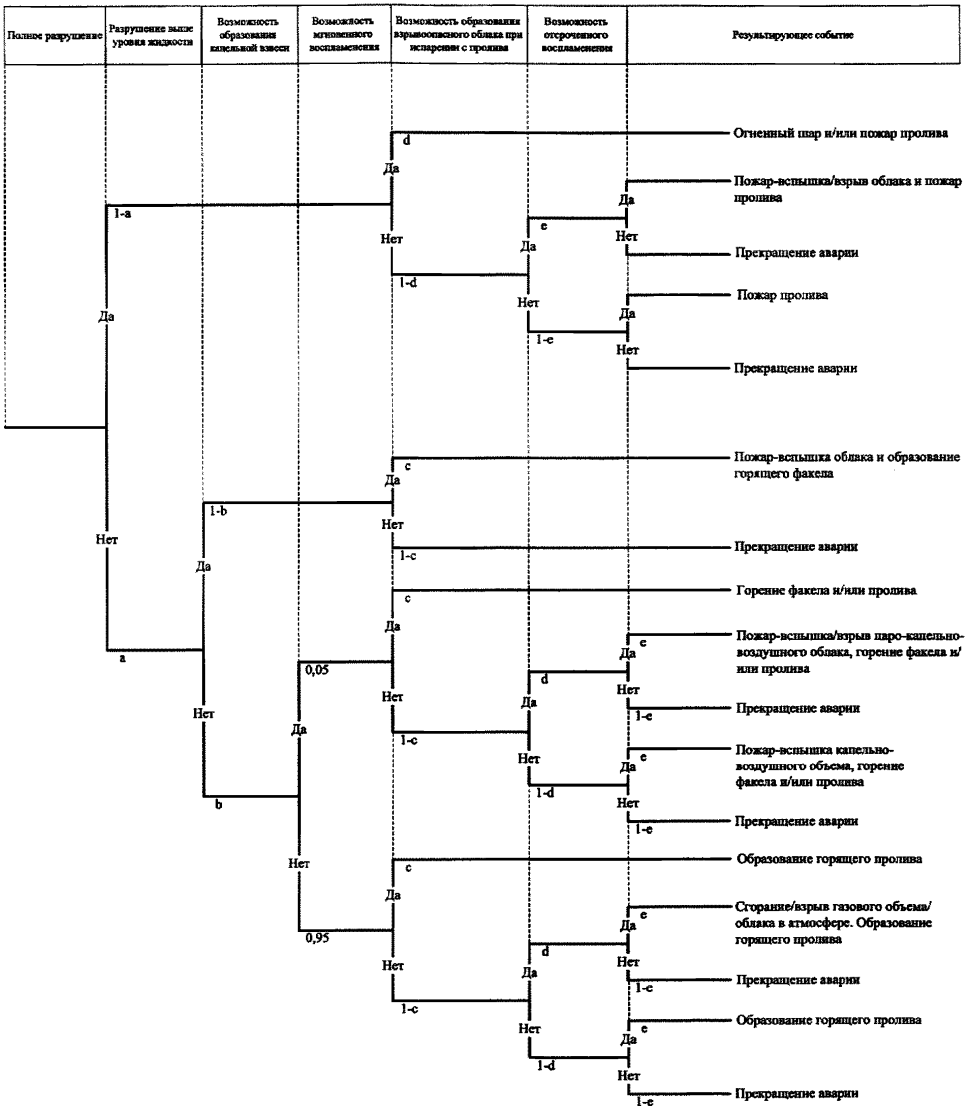


Рис. 4-2. Дерево событий при разрушении емкости под давлением

Приведенные условные вероятности могут быть скорректированы с учетом дополнительных решений, направленных на снижение риска аварий на ОПО.

Перечисленные сценарии аварий включают и сценарии, развитие которых сопровождается так называемым эффектом домино. Этот эффект учитывается на последних этапах («в» — «д») развития аварии — «последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества».

Переход аварийной ситуации с одной емкости на другую возможен:

а) при разлете осколков (или отдельных элементов конструкции) и разрушении этими осколками соседних емкостей;

б) при охватывании пламенем емкости и потере устойчивости конструкций этой емкости;

в) при нагреве емкости тепловым излучением и потере устойчивости конструкций этой емкости;

г) при нагреве емкости тепловым излучением или пламенем и внутреннем взрыве в емкости вследствие нагрева;

д) при контакте пламени с загазованной областью с концентрацией выше нижнего концентрационного предела распространения пламени.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

Приложение № 5
к Руководству

Частоты аварийной разгерметизации типового оборудования на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов

Таблица № 5-1

Частоты разгерметизации трубопроводов

Внутренний диаметр трубопровода	Частота разгерметизации, $год^{-1} \cdot м^{-1}$	
	Разрыв на полное сечение, истечение из двух концов трубы	Истечение через отверстие с эффективным диаметром 10 % номинального диаметра трубы, но не больше 50 мм
Менее 75 мм	$1 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$
От 75 до 150 мм	$3 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-6}$
Более 150 мм	$1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$

Примечания: 1. Частоты приведены для технологических трубопроводов, не подверженных интенсивной вибрации, не работающих в агрессивной среде, при отсутствии эрозии, не подверженных циклическим тепловым нагрузкам.
2. При наличии указанных факторов частота повышается в 3–10 раз в зависимости от специфики условий.
3. Разгерметизация на фланцевых соединениях добавляется к разгерметизациям на трубопроводах. Одно фланцевое соединение по частоте разгерметизации приравнивается к 10 м трубопровода.
4. Длина трубопровода не менее 10 м. При меньшей длине она считается равной 10 м.

Таблица № 5-2

Частоты разгерметизации на трубопроводах сжиженного газа

Оборудование	Частота разгерметизации, $год^{-1}$	
	Эквивалентный диаметр отверстия ≥ 1 мм	Эквивалентный диаметр отверстия ≥ 50 мм
Стальные трубы (2″), на 1 м	$5{,}7 \cdot 10^{-5}$	0

Оборудование	Частота разгерметизации, год$^{-1}$	
	Эквивалентный диаметр отверстия ≥ 1 мм	Эквивалентный диаметр отверстия ≥ 50 мм
Стальные трубы (6″), на 1 м	$2 \cdot 10^{-5}$	$7{,}7 \cdot 10^{-8}$
Стальные трубы (18″), на 1 м	$1{,}1 \cdot 10^{-5}$	$4{,}2 \cdot 10^{-8}$
Фланцевое соединение (2″)	$3{,}2 \cdot 10^{-5}$	0
Фланцевое соединение (6″)	$4{,}3 \cdot 10^{-5}$	$3{,}6 \cdot 10^{-7}$
Фланцевое соединение (18″)	$1{,}2 \cdot 10^{-4}$	$1{,}1 \cdot 10^{-6}$
Клапан с ручным управлением (2″)	$1{,}4 \cdot 10^{-5}$	0
Клапан с ручным управлением (6″)	$4{,}38 \cdot 10^{-5}$	$4{,}9 \cdot 10^{-7}$
Клапан с ручным управлением (18″)	$2{,}2 \cdot 10^{-4}$	$2{,}3 \cdot 10^{-6}$
Клапан с приводом (не на трубопроводе) (6″)	$2{,}6 \cdot 10^{-4}$	$1{,}9 \cdot 10^{-6}$
Контрольно-измерительный прибор	$2{,}3 \cdot 10^{-4}$	0
Технологический сосуд	$5 \cdot 10^{-4}$	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$
Центробежный насос	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$	$2{,}4 \cdot 10^{-5}$
Поршневой насос	$3{,}7 \cdot 10^{-3}$	$5{,}2 \cdot 10^{-4}$
Центробежный компрессор	$2{,}0 \cdot 10^{-3}$	$2{,}0 \cdot 10^{-6}$
Поршневой компрессор	$2{,}7 \cdot 10^{-2}$	$1{,}1 \cdot 10^{-5}$
Теплообменник (оболочковый)	$1{,}4 \cdot 10^{-3}$	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$
Теплообменник (труба в трубе)	$1{,}0 \cdot 10^{-3}$	$4{,}9 \cdot 10^{-5}$
Теплообменник (пластинчатый)	$6 \cdot 10^{-3}$	$3{,}6 \cdot 10^{-4}$
Теплообменник (с воздушным охлаждением)	$1{,}2 \cdot 10^{-3}$	$6{,}9 \cdot 10^{-5}$
Фильтр	$8{,}9 \cdot 10^{-4}$	$6{,}4 \cdot 10^{-6}$

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

Таблица № 5-3

Частоты разгерметизации насосов

Тип насоса	Частота разгерметизации, год$^{-1}$	
	Катастрофическое разрушение с эффективным диаметром отверстия, равным диаметру наибольшего трубопровода	Утечка через отверстие с номинальным диаметром 10 % диаметра наибольшего трубопровода
Насосы без дополнительного оборудования	$1 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Насосы в стальном корпусе	$5 \cdot 10^{-5}$	$2{,}5 \cdot 10^{-4}$
Экранированные насосы	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$

Таблица № 5-4

Частоты разгерметизации автомобильных и железнодорожных цистерн (в стационарном положении)

Тип оборудования	Частота разгерметизации					
	Мгновенный выброс всего содержимого	Продолжительный выброс из цистерны через отверстие, соответствующее размеру наибольшего соединения	Полный разрыв сливоналивного рукава	Утечка из сливоналивного рукава через отверстие с эффективным диаметром 10 % номинального диаметра, максимум 50 мм	Полное разрушение жесткого сливоналивного устройства	Утечка из жесткого сливоналивного устройства через отверстие с эффективным диаметром 10 % номинального диаметра, максимум 50 мм
Цистерна под избыточным давлением	$5 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$	$5 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$	$4 \cdot 10^{-6}$ ч$^{-1}$	$4 \cdot 10^{-5}$ ч$^{-1}$	$3 \cdot 10^{-8}$ ч$^{-1}$	$3 \cdot 10^{-8}$ ч$^{-1}$
Цистерна при атмосферном давлении	$1 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$	$5 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$	$4 \cdot 10^{-6}$ ч$^{-1}$	$4 \cdot 10^{-5}$ ч$^{-1}$	$3 \cdot 10^{-8}$ ч$^{-1}$	$3 \cdot 10^{-8}$ ч$^{-1}$

Примечания: 1. Выше приведены частоты аварийной разгерметизации для цистерн в стационарном положении.

2. Возникновение пожара под цистерной может привести к мгновенному выбросу всего содержимого с образованием огненного шара (при перевозке взрывопожароопасных жидкостей и сжиженных газов). Частота возникновения аварий данного типа по причине локальных утечек из соединительных шлангов оценивается величиной $1 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$ для цистерн под избыточным давлением и $1 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$ для цистерн при атмосферном давлении.

3. При наличии нескольких цистерн в расчетах рекомендуется учитывать «эффект домино».

© Оформление: ЗАО НТЦ ПБ, 2015

Приложение № 6

к Руководству

Рекомендуемый порядок расчета истечения пожаровзрывоопасных газов из технологических трубопроводов

Истечение газа при разрыве трубопровода на полное сечение описывается дифференциальными балансовыми соотношениями по массе, импульсу и энергии:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial\rho}{\partial\tau}+\frac{\partial}{\partial x}(\rho\vartheta)=0,\\
&\frac{\partial}{\partial\tau}(\rho\vartheta)+\frac{\partial}{\partial x}(P+\rho\vartheta^2)=-\lambda\frac{\rho\vartheta^2}{2d_0},\\
&\frac{\partial}{\partial\tau}\left[\rho\left(e+\frac{\vartheta^2}{2}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial x}\left[\rho\vartheta\left(h+\frac{\vartheta^2}{2}\right)\right]=\frac{4\alpha}{d_0}\left(T_0-T\right)
\end{aligned}\right\} \qquad (6\text{-}1)$$

где ρ — плотность газа;

τ — время;

ϑ — усредненная по сечению скорость транспортируемого газа;

P — давление;

e — удельная внутренняя энергия;

h — удельная энтальпия;

d_0 — внутренний диаметр трубы;

α — коэффициент теплообмена с окружающей средой;

T — температура стенки трубы;

T_0 — температура окружающей среды.

Для инженерной оценки массового расхода газа при разрыве трубопровода может быть использовано уравнение Белла:

$$G(\tau)=\frac{\Gamma G_{н}}{1+\eta}\cdot\left[\exp\left(-\frac{\tau}{\eta^{2}\cdot\varepsilon}\right)+\eta\cdot\exp\left(-\frac{\tau}{\varepsilon}\right)\right], \qquad (6\text{-}2)$$

где $G(\tau)$ и $G_{н}$ — текущий и начальный массовый расход (в момент разрыва), кг/с;

τ — время, прошедшее с момента разрыва, с;

Γ — фактор инерциальной задержки (≅0,5);

η — коэффициент сохранения массы;

ε — постоянная времени, с.

Начальный массовый расход рассчитывается в предположении о том, что в месте разрыва характер процесса истечения адиабатический:

$$G_{н}=\frac{P_{н}A_{р}\sqrt{k}}{\sqrt{R\overline{Z}_{кр}T_{н}}}\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}}, \qquad (6\text{-}3)$$

где $P_{н}$ — давление газа в трубопроводе до разрыва, Па;

$A_{р}$ — площадь поперечного сечения разрыва, м^2;

R — удельная газовая постоянная, Дж/кг·К;

$T_{н}$ — температура газа в трубопроводе до разрыва, К;

$\overline{Z}_{кр}$ — коэффициент сжимаемости по условиям газа на срезе (выходе) при $P_{кр}$, $T_{кр}$.

Коэффициент сохранения массы рассчитывается по формуле

$$\eta=\frac{M_{г}}{\varepsilon\cdot\Gamma\cdot G_{н}}, \qquad (6\text{-}4)$$

где $M_{г}$ — общая масса газа, способная вытечь из изолированной секции трубопровода, кг;

ε — постоянная времени, с.

Выражение для постоянной времени ε базируется на допущении об изотермическом характере процесса движения газа, имеющем место на большей части длины отсеченной секции трубопровода:

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

$$\varepsilon = \frac{2}{3}\frac{L_*}{a_o}\sqrt{\frac{k \cdot f_{тр} \cdot L_*}{d_o}}; \quad a_o = \sqrt{kRZ_н T_н}, \qquad (6\text{-}5)$$

где L_* — длина отсеченного участка трубопровода, м;

a_o — скорость звука в газе до разрыва, м/с;

$f_{тр}$ — коэффициент трения газа о стенки трубы (шероховатость);

d_o — внутренний диаметр трубопровода, м.

Общая масса газа, которая может быть выброшена при разрыве, определяется из выражения:

$$M_г = \frac{L_* \cdot A_* \cdot d_0}{R \cdot Z_н \cdot T_н}, \qquad (6\text{-}6)$$

где $Z_н$ — коэффициент сжимаемости газа до разрыва при параметрах $P_н$, $T_н$;

L_* — длина отсеченного участка трубопровода, м;

A_* — площадь поперечного сечения трубопровода.

Рекомендуемый порядок расчета истечения сжиженных газов из технологических трубопроводов

Для расчета интенсивности истечения сжиженных углеводородов (пропан-бутановых смесей) рекомендуется корреляция:

$$G = \frac{n_1 F\sqrt{2(P_* - P_a)\rho_l}}{\left(\frac{L}{d_0}\right)^{n_2}}, \qquad (6\text{-}7)$$

где F — площадь сечения трубы в месте истечения (разрыва), м^2;

G — массовый расход, кг/с;

ρ_l — плотность жидкости;

L и d_0 — длина и диаметр трубопровода, м.

Для случая истечения двухфазной жидкости под давлением насыщенных паров из отсеченного с одного конца участка трубо-

провода: P_* — давление насыщения при температуре окружающей среды, Н/м^2; $n_1 = 0{,}4$; $n_2 = 0{,}23$.

Для случая истечения сжиженного газа через протяженный трубопровод из емкости под избыточным давлением: P_* — абсолютное давление в емкости, Н/м^2; $n_1 = 2$; $n_2 = 0{,}3$.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

Приложение № 7
к Руководству

Методические документы для оценки возможных последствий аварий

Таблица № 7-1

Методические документы

Назначение	Документ
1. Расчет параметров ударной волны, зон поражения и разрушения при воспламенении и взрыве облаков ТВС	Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (утверждена приказом Ростехнадзора от 20 апреля 2015 г. № 159)
2. Расчет концентрационных полей при рассеивании и дрейфе облаков ТВС в поле ветра, расчета размеров зон поражения при пожаре-вспышке (сгорании) дрейфующего облака ТВС, определение массы опасных веществ во взрывоопасных пределах	Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ (утверждена приказом Ростехнадзора от 20 апреля 2015 г. № 158)
3. Определение параметров воздействия и зон поражения при горении пролива, огненном шаре, факельном горении	Методика определения величин пожарного риска на производственных объектах (утверждена приказом МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404)
4. Расчет параметров воздействия и зон поражения при горении опасных веществ в зданиях	
5. Расчет параметров воздействия и зон поражения продуктами горения	
6. Расчет параметров воздействия и зон поражения осколками	СТО Газпром 2-2.3-400–2009 «Методика анализа риска для опасных производственных объектов газодобывающих предприятий ОАО «Газпром»

Приложение № 8
к Руководству

Условные вероятности воспламенения аварийных выбросов взрывопожароопасных веществ с учетом размещения источников зажигания

Условная вероятность воспламенения аварийных выбросов взрывопожароопасных веществ при наличии периодически действующих источников зажигания рассчитывается по формуле

$$P_{И} = 1 - Q(\tau), \qquad (8\text{-}1)$$

где $Q(\tau)$ — вероятность незажигания облака от источников $И_k$, натуральный логарифм, который рассчитывается как:

$$LnQ(\tau) = \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J} F_{ih} \cdot \mu_j \cdot \left[\left(1 - a_j \cdot p_j\right) \cdot e^{-\lambda_j p_j d_{ih}} - 1\right], \qquad (8\text{-}2)$$

где i — номер элементарной площадки в расчетной области;

$j = 1, \ldots J$ — номер источника воспламенения на элементарной площадке;

F_{ih} — площадь i-й элементарной площадки, га;

μ_j — плотность распределения источников зажигания, шт/га;

a_j — доля времени активности j-го источника зажигания, рассчитываемая по формуле:

$$a_j = \tau_i / \left(\tau_a + \tau_i\right), \qquad (8\text{-}3)$$

где τ_i — время, в течение которого источник зажигания активен, мин;

τ_a — время (период) между периодами активации источника зажигания, мин;

p_j — физический потенциал воспламенения j-го источника зажигания (таблица № 8-1).

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

Таблица № 8-1

Потенциал воспламенения ряда типичных источников зажигания

Тип источника зажигания	Потенциал воспламенения
Включенная горелка, открытое пламя	$p_j = 1$
Электромоторы, горячая обработка	$p_j > 0{,}5$
Транспортные средства, неисправная проводка	$0{,}5 > p_j > 0{,}05$
Электрооборудование, искры	$p_j < 0{,}05$
Взрывобезопасное оборудование, радиочастотные источники	$p_j = 0$

λ_j — частота активации j-го источника зажигания, 1/мин, рассчитываемая как:

$$\lambda_j = 1/(\tau_a + \tau_i), \tag{8-4}$$

d_{ih} — время, в течение которого источник был в контакте с облаком, мин (рекомендуется принимать 60 мин).

Условная вероятность зажигания облака от постоянно действующего во времени источника зажигания рассчитывается по формуле

$$P_И = 1 - [Q(\tau)]\prod_{j=1}^{J}(1 - p_j). \tag{8-5}$$

При описании территориального распределения и характеристик источников зажигания в расчетной области для последующего расчета условной вероятности зажигания облака рекомендуется пользоваться данными таблицы № 8-2.

Таблица № 8-2

Параметры различных типовых источников зажигания периодического действия

Тип территории	Источник зажигания	p_j	τ_a	τ_j	a_j	λ_j	μ_j
Автостоянка	«Часы пик»	0,2	6	474	0,0125	0,0021	160
	Другие часы	0,2	6	54	0,1	0,0167	3
	Курение	1	10	470	0,021	0,0021	8
Дорога	«Часы пик»	0,1	6	474	0,0125	0,0021	160
	Другие часы	0,1	6	54	0,1	0,0167	3
	Внутренняя перевозка грузов	0,1	6	24	0,2	0,0333	20
	Транспортный контроль	1	0	15	0	0,0667	20
Бойлерная	Котел	1	120	360	0,25	0,0021	200
Открытое пламя	непрерывного действия внутри и вне зданий	1	—	0	1	0	200
	редкого действия внутри и вне зданий	1	60	420	0,125	0,0021	200
	прерывистого действия внутри и вне зданий	1	5	55	0,0833	0,0167	200
Столовая, пищеблок	Курение	1	5	115	0,042	0,0083	200
	Кухонное оборудование	0,25	5	25	0,167	0,0333	100
Производственные зоны	Тяжелое оборудование	0,5	—	—	1	0,028	50
	Среднее оборудование	0,25	—	—	1	0,035	50
	Легкое оборудование	0,1	—	—	1	0,056	50
Складские зоны	Погрузоразгрузочные работы	0,1	10	20	0,333	0,0333	10
Офисные зоны	Офисное оборудование	0,05	—	—	1	0,056	20

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2015

По вопросам приобретения
нормативно-технической документации
обращаться по тел./факсу
(495) 620-47-53 (многоканальный)
E-mail: ornd@safety.ru

Подписано в печать 22.10.2015. Формат 60×84 1/16.
Гарнитура Times. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Объем 3,0 печ. л.
Заказ № 1022.
Тираж 40 экз.

Подготовка оригинал-макета и печать
Закрытое акционерное общество
«Научно-технический центр исследований
проблем промышленной безопасности»
105082, г. Москва, Переведеновский пер., д. 13, стр. 14