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



Серия 09

Документы по безопасности,
надзорной и разрешительной деятельности
в химической, нефтехимической
и нефтеперерабатывающей промышленности

Выпуск 38

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ
«МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ, НЕФТЕ- И ГАЗОХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

2014

gost.e-ecolog.ru

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

Серия 09
Документы по безопасности,
надзорной и разрешительной деятельности
в химической, нефтехимической
и нефтеперерабатывающей промышленности

Выпуск 38

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ

«МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ, НЕФТЕ- И ГАЗОХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

Москва
ЗАО НТЦ ПБ
2014

ББК 33.131
Р84

Р84 **Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности». Серия 09. Выпуск 38** / Колл. авт. — М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014. — 44 с.

ISBN 978-5-9687-0568-6

Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности» разработано в соответствии с приказом Ростехнадзора от 11.10.2013 № 474 рабочей группой в составе: С.Г. Радионова, С.А. Жулина, Н.А. Махутов, В.В. Козельский, А.А. Воротилкин, О.В. Кононова, Д.М. Чеботарева, А.И. Гражданкин, Д.В. Дегтярев, О.Н. Кирюшина, А.А. Ляпин, А.С. Печеркин, Р.Э. Чавдаров, Ю.Н. Шебеко.

Руководство по безопасности содержит рекомендации к количественной оценке риска аварий для обеспечения выполнения требований промышленной безопасности при проектировании, строительстве, реконструкции, капитальном ремонте, техническом перевооружении, эксплуатации, консервации и ликвидации опасных производственных объектов нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности.

Руководство по безопасности предназначено для применения организациями, осуществляющими оценку риска аварий.

ББК 33.131

ISBN 978-5-9687-0568-6



© Оформление. Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27 декабря 2013 г. № 646 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности» 4
Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности» 5
I. Общие положения 5
II. Общие рекомендации по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий 6
III. Рекомендуемые основные показатели риска аварий 7
IV. Рекомендации по количественной оценке риска аварии 7
Приложение № 1. Список сокращений 16
Приложение № 2. Термины и определения 18
Приложение № 3. Пример типовых сценариев для установки пиролиза 20
Приложение № 4. Пример деревьев событий при авариях на оборудовании, содержащем опасные вещества 23
Приложение № 5. Рекомендуемый порядок расчета истечения опасных веществ из технологических трубопроводов 36
Приложение № 6. Пример расчета параметров выброса массы опасных веществ для технологического блока подготовки сырья производства полиэтилена 38
Приложение № 7. Пример результатов расчета показателей риска для газоперерабатывающего предприятия 40

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2014

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

ПРИКАЗ

27 декабря 2013 г. Москва № 646

Об утверждении Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности»

В целях реализации 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, п р и к а з ы в а ю :

1. Утвердить прилагаемое Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности».

2. Установить, что положения Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности» носят рекомендательный харакер.

Врио руководителя **А.В. Ферапонтов**

УТВЕРЖДЕНО
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 27 декабря 2013 г. № 646

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ
«Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности»

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности» (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., рег. № 28138) (далее — Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств») 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., рег. № 29581) (далее — Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта»).

2. Настоящее Руководство содержит рекомендации к количественной оценке риска аварий (далее — оценка риска) для обеспечения требований промышленной безопасности при проектировании, строительстве, капитальном ремонте, техническом перевооружении, реконструкции, эксплуатации, консервации и ликвидации опасных производственных объектов нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности, и не является нормативным правовым актом.

3. Организации, осуществляющие оценку риска аварий, могут использовать иные обоснованные способы и методы, чем те, которые указаны в настоящем Руководстве, в случае, если они получили одобрение Научно-технического совета Ростехнадзора.

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

5. Руководство распространяется на опасные производственные объекты нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ. 2014

II. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ АНАЛИЗА ОПАСНОСТЕЙ И ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИЙ

6. Общая процедура анализа опасностей и оценки риска (рис. 1) в соответствии с Методическими указаниями по проведению анализа риска опасных производственных объектов (РД 03-418–01), утвержденными постановлением Госгортехнадзора России от 10 июля 2001 г. № 30 (далее — Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов), включает планирование и организацию работ, идентификацию опасностей, оценку риска, разработку рекомендаций по уменьшению рисков.

7. Оценку риска аварий опасных производственных объектов нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности рекомендуется проводить при разработке:

декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта, разрабатываемой в соответствии с Порядком оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечень включаемых в нее сведений, утвержденным приказом Ростехнадзора от 29 ноября 2005 г. № 893 (РД-03-14–2005);

обоснования безопасности опасного производственного объекта, разрабатываемого в соответствии с Общими требованиями к обоснованию безопасности опасного производственного объекта;

проектной документации на строительство или реконструкцию опасного производственного объекта;

документации на техническое перевооружение, капитальный ремонт, консервацию и ликвидацию опасного производственного объекта;

плана по предупреждению и локализации и ликвидации аварий, разрабатываемого в соответствии с Рекомендациями по разработке планов локализации и ликвидации аварий на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах, утвержденными приказом Ростехнадзора от 26 декабря 2012 г. № 781;

критериев приемлемого риска аварий на опасных производственных объектах, устанавливаемых в федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности, и иных работах, связанных с определением степени опасности и проведением количественной оценки риска аварий на опасных производственных объектах.

8. При оценке риска аварий на опасных производственных объектах рекомендуется учитывать влияние систем противоаварийной защиты, действия средств блокировок, автоматического контроля и регулирования; защитных мероприятий по эвакуации людей; действия аварийно-спасательных формирований.

9. При анализе причин возникновения аварийных ситуаций на опасных производственных объектах 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, недо-

статочным контролем (или отсутствием контроля) за параметрами технологического процесса;

в) внешних воздействий природного и техногенного характера, связанных с землетрясениями, паводками и разливами, несанкционированным вмешательством в технологический процесс, диверсиями или террористическими актами, авариями или другими техногенными происшествиями на соседних объектах.

10. При расчете пожарного риска на объектах защиты опасных производственных объектов следует использовать Методику определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах, утвержденную приказом МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 (далее — Методика определения величин пожарного риска на производственных объектах).

11. Исходные данные, сделанные допущения и предположения, результаты оценки риска аварий на опасных производственных объектах должны быть обоснованы и документально зафиксированы в объеме, достаточном для того, чтобы выполненные расчеты и выводы могли быть повторены и проверены в ходе независимого аудита или экспертизы.

III. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РИСКА АВАРИЙ

12. Для оценки риска аварий на опасных производственных объектах рекомендуется использовать следующие количественные показатели риска аварии: индивидуальный риск $R_{инд}$, потенциальный риск $R_{пот}$, коллективный риск $R_{колл}$, социальный риск $F(x)$, частота реализации аварии с гибелью не менее одного человека R_1.

13. Показатели риска аварии являются функцией конкретных исходных данных, которые в свою очередь являются функцией времени.

14. Показатели риска аварии рекомендуется представлять в виде значений, рассчитанных для составляющих опасного производственного объекта, а также просуммированных значений для всего опасного производственного объекта.

15. Показатели индивидуального риска $R_{инд}$ и коллективного риска $R_{колл}$ рекомендуется представлять в виде значений вероятности гибели человека и ожидаемого количества погибших из числа выбранной группы лиц в течение 1 года.

16. Показатели потенциального риска $R_{пот}$ рекомендуется представлять на ситуационном плане в виде изолиний, кратных отрицательной степени 10, показывающих распределение значений риска гибели людей от поражающих факторов аварий по территории опасного производственного объекта и прилегающей местности в течение 1 года.

17. Показатель социального риска $F(x)$ аварии рекомендуется представлять в виде графика ступенчатой функции, описывающей зависимость ожидаемой частоты аварий, в которых может погибнуть не менее x человек, от числа погибших — x.

IV. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ РИСКА АВАРИИ

18. Количественная оценка риска аварии включает определение сценариев развития аварии, оценку частоты возможных сценариев аварий, оценку возможных последствий по рассматриваемым сценариям аварий, расчет показателей риска аварии.

19. При определении сценариев аварий рекомендуется рассматривать следующие случаи и сопровождающие их поражающие факторы:

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ. 2014

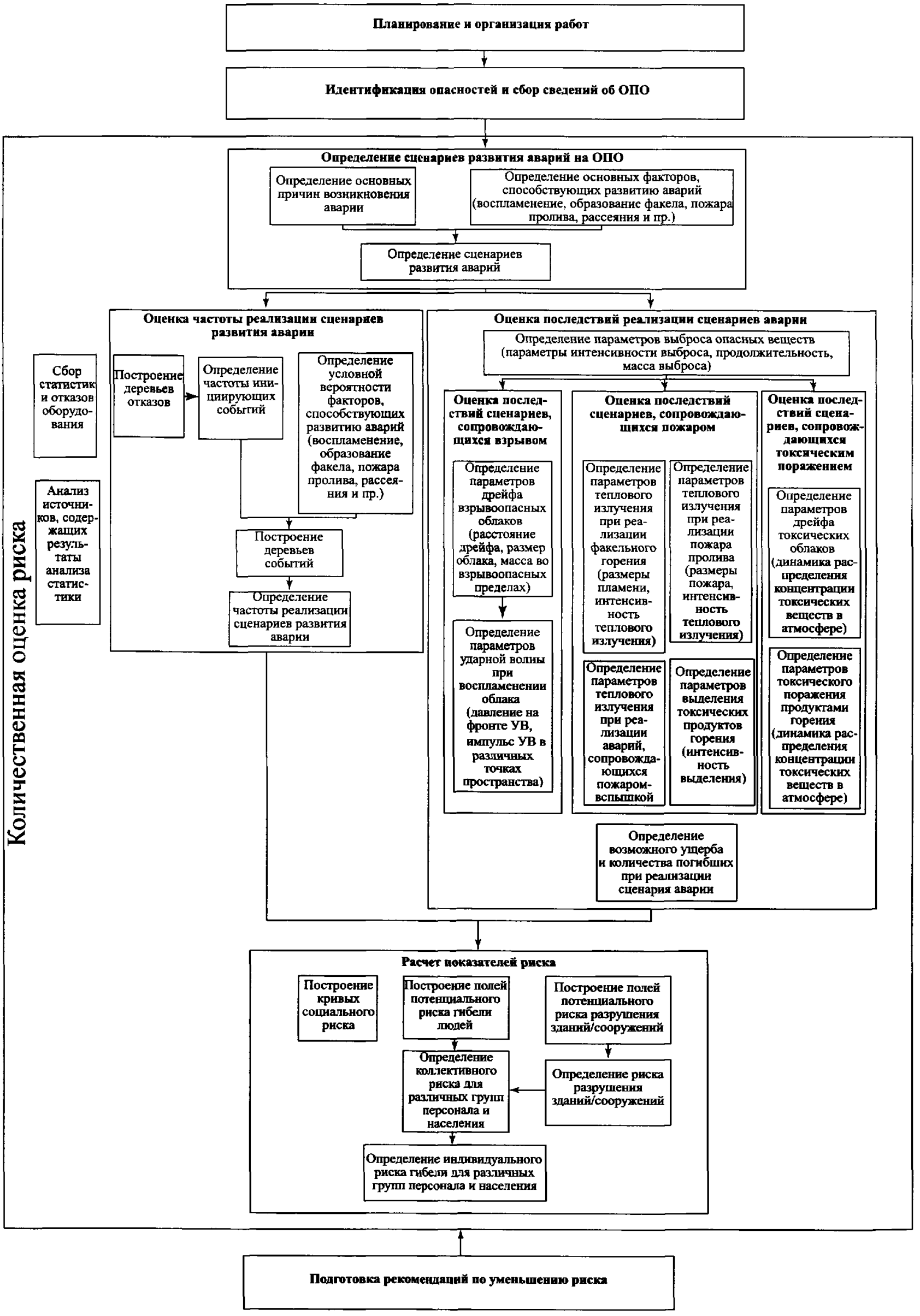

Рис. 1. Общая схема анализа опасности и оценки риска

а) мгновенный выброс опасных веществ с воспламенением с образованием струевого пламени или колонного пожара вследствие разрыва технологического трубопровода или разрушения емкости, аппарата, установки с газом жидкостью под давлением с распространением следующих поражающих факторов: осколков; ударной волны (воздушной волны сжатия), образующейся в начальные моменты истечения сжатого газа в атмосферу; скоростного напора струи газа, прямого воздействия пламени, теплового излучения от пламени;

б) истечение газа (жидкости) с последующим образованием взрывоопасной газовоздушной смеси, последующее воспламенение смеси и ее взрывное превращение по дефлаграционному типу, а также пожар колонного типа в загроможденном пространстве с распространением следующих поражающих факторов: ударной волны, скоростного напора струи газа, прямого воздействия пламени, теплового излучения от пламени;

в) взрыв топливно-воздушной смеси (ТВС) в емкости, последующие разлив и воспламенение горючих жидкостей и горение в виде пожара разлития с распространением следующих поражающих факторов: осколков, ударной волны, прямого воздействия пламени и теплового излучения от пламени;

г) истечение горючей термодинамически стабильной жидкости из емкости, резервуара, технологического трубопровода с образованием площади разлития и испарением жидкости с поверхности разлива; воспламенение облака ТВС от источника зажигания (автомобиля с работающим двигателем, неисправного электрооборудования или открытого источника огня) на территории промплощадки или вне ее, с последующим распространением поражающих факторов: ударной волны, образующейся при взрывном сгорании смеси; прямого воздействия пламени при сгорании облака ТВС, пожара-вспышки, огненного шара; теплового излучения от пламени пожара разлития;

д) истечение термодинамически нестабильной жидкости из емкости, резервуара, технологического трубопровода или насоса с образованием площади разлития и интенсивным испарением легких фракций с поверхности разлития с образованием, рассеиванием и переносом паров продукта (тяжелее воздуха) вблизи поверхности земли по направлению ветра; воспламенение взрывопожароопасного облака от источника зажигания с последующим распространением вблизи места аварии поражающих факторов: ударной волны, прямого воздействия пламени при сгорании облака ТВС, пожара-вспышки, огненного шара и от пожара разлития; теплового излучения от пламени пожара разлития.

20. При определении сценариев на последних этапах развития аварии рекомендуется учитывать сочетание последовательных сценариев или «эффект домино». Этот эффект рекомендуется учитывать, если затронутое оборудование содержит опасные вещества.

21. Пример сценариев представлен в приложении № 3.

22. Частота сценария аварии определяется путем перемножения условной вероятности сценария на частоту возникновения аварии (частоту разгерметизации).

23. Для определения условной вероятности сценария аварии рекомендуется использовать метод построения деревьев событий в соответствии с Методическими указаниями по проведению анализа риска опасных производственных объектов и Методикой определения величин пожарного риска на производственных объектах.

24. В качестве исходного события каждого дерева рекомендуется принимать разгерметизацию технического устройства или его элемента (для технологических трубопроводов — участка). Каждый узел (разветвление) дерева событий должен отражать влияние факторов развития аварии. Общее число конечных ветвей дерева событий соответствует общему числу расчетных сценариев аварии, образующих полную группу несовместных событий (см. пример в приложении № 4).

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2014

25. Для оценки частот разгерметизации технического устройства рекомендуется пользоваться Методическими указаниями по проведению анализа риска опасных производственных объектов и Методикой определения величин пожарного риска на производственных объектах. При отсутствии обоснованных значений рекомендуется для оценки частот разгерметизации 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») с учетом влияния методов управления надежностью технических устройств (ГОСТ Р 27.606–2013 «Надежность в технике. Управление надежностью. Техническое обслуживание, ориентированное на безотказность») и методов контроля заданных показателей надежности (ГОСТ Р 27.403–2009 «Надежность в технике. Планы испытаний для контроля вероятности безотказной работы»).

26. Показатели надежности и частоты возникновения аварий на оборудовании и трубопроводах объектов, на которых обращается сжиженный углеводородный газ, рекомендуется определять согласно приложению Б к СТО Газпром 2-2.3-569–2011 «Методическое руководство по расчету и анализу рисков при эксплуатации объектов производства, хранения и морской транспортировки сжиженного и сжатого природного газа ОАО «Газпром».

27. При оценке возможных последствий аварий рекомендуется определять вероятные зоны действия поражающих факторов и причиненный ущерб (количество пострадавших).

28. При определении вероятных зон действия поражающих факторов рекомендуется проводить:

а) определение количества опасного вещества, участвующего в создании поражающих факторов аварии;

б) определение 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) сравнение рассчитанных количественных параметров с критериями поражения (разрушения).

29. Для определения количества опасного вещества, участвующего в создании поражающих факторов аварии, рекомендуется учитывать деление технологического оборудования и трубопроводов на изолируемые запорной арматурой секции (участки); интервал срабатывания и производительность систем аварийного сброса и опорожнения (в том числе на факел); влияние волновых гидродинамических процессов на режим истечения опасного вещества для протяженных трубопроводных систем (длиной более 500 м).

30. Рекомендуемый порядок расчета истечения опасных веществ из технологических трубопроводов приведен в приложении № 5.

31. Массу аварийного выброса опасных веществ рекомендуется определять как массу вещества в аппарате (трубопроводе) 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 время обнаружения выброса и перекрытия задвижек

рекомендуется принимать равным 600 с в случае наличия средств противоаварийной защиты и системы обнаружения утечек и 1800 с в случае их отсутствия.

32. Для сценария взрыва облака ТВС в соответствии с Методическими указаниями по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ (РД 03-26–2007), утвержденными приказом Ростехнадзора от 14 декабря 2007 г. № 859 (далее — Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ), количество опасного вещества в облаке рекомендуется определять как сумму масс газовых фракций в аппарате, образовавшихся при кипении жидкости за счет внутренней энергии, поступивших за счет перетока из соседних аппаратов с учетом изменения в процессе выброса состава облака ТВС, температуры и давления согласно термодинамическим расчетам.

33. Для сценария взрыва облака ТВС количество опасного вещества, участвующего в создании поражающих факторов, рекомендуется определять на основе количества паров углеводородов, которое при дрейфе облака способно к взрывному превращению.

34. Для сценария образования факельного пламени количество опасного вещества рекомендуется определять с учетом потока (массовой скорости истечения из технических устройств) газа или парожидкостной фазы в виде струи.

35. Пример расчета количества опасных веществ приведен в приложении № 6.

36. Оценку возможных последствий аварий рекомендуется проводить на основе методических документов, указанных в табл. 1.

Таблица 1

Назначение	Документ
1. Расчет параметров ударной волны, зон поражения и разрушения при воспламенении и взрыве облаков топливно-воздушных смесей	Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей
2. Расчет концентрации, массы ОВ во взрывоопасных пределах и зон поражения при пожаре-вспышке и взрыве ТВС	Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ
3. Определение параметров воздействия и зон поражения при горении пролива, огненном шаре, факельном горении	Методика определения величин пожарного риска на производственных объектах
4. Расчет параметров воздействия и зон поражения при горении ОВ 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»

37. Для сценариев с пожаром пролива в случае примерно равных площадей пролива форму пламени при горении рекомендуется аппроксимировать наклонным цилиндром с радиусом, равным эффективному радиусу пролива. Для этого цилиндра определяются параметры теплового излучения в соответствии с пунктом 23 приложения 3 к Методике определения величин пожарного риска на производственных объектах.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2014

38. Для расчета сценариев с образованием огненного шара рекомендуется использовать пункт 24 приложения № 3 к Методике определения величин пожарного риска на производственных объектах.

39. Для расчета концентрационных полей при рассеивании и дрейфе облака рекомендуется использовать Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ. Для расчета размеров зон поражения при пожаре-вспышке (сгорании) дрейфующего облака размер зоны возможного смертельного поражения людей определяется размерами зоны достижения концентрации, равной половине нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР) согласно пункту 47 Методических указаний по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ.

40. Массу во взрывоопасных пределах, способную участвовать во взрыве, рекомендуется определять согласно приложению № 3 к Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств».

41. При отсутствии сведений о распределении источников воспламенения и о 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.

42. Для расчета параметров волн давления (давление P и импульс I), образующихся при сгорании/взрыве облаков ТВС, и зон поражения рекомендуется использовать формулы (18) и (19) приложения № 3 к Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», а также Методику оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей, утвержденной постановлением Госгортехнадзора России от 26 июня 2001 г. № 25 (РД 03-409–01) (далее — Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей).

43. Последствия сценария со струйным горением и расчета размеров зон поражения термическим излучением рекомендуется определять в соответствии с Методикой определения величин пожарного риска на производственных объектах.

44. Для расчета последствий аварий с выбросом опасных веществ и взрывом облака ТВС в помещениях рекомендуется использовать методы вычислительной гидродинамики.

45. Для расчета размеров зон поражения ударными волнами и расчета вероятности гибели людей, находящихся в зданиях, при взрыве рекомендуется использовать пробит-функцию в соответствии с пунктами 2.2, 2.3 приложения № 3 к Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств». Рекомендуется учитывать, что смертельное поражение людей на открытом пространстве достигается при давлении на фронте ударной волны более 120 кПа.

46. Для оценки гибели людей при пожарах на оборудовании, расположенном в здании, с учетом их эвакуации рекомендуется использовать формулы в соответствии с приложением № 5 к Методике определения величин пожарного риска на производственных объектах.

47. Для расчета вероятности гибели людей от поражения токсичными опасными веществами рекомендуется применять формулы согласно пункту 48 Методических указаний по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ.

48. Для расчета вероятности гибели людей от поражения токсичными продуктами горения в помещениях рекомендуется применять формулы согласно приложению № 5 к Методике определения величин пожарного риска на производственных объектах.

49. При оценке гибели людей от переохлаждения при проливах испаряющихся сжиженных углеводородных газов рекомендуется принимать, что погибают все люди, оказавшиеся в зоне пролива.

50. При оценке зоны разлета осколков оборудования под давлением рекомендуется руководствоваться положениями приложения Ж к СТО Газпром 2-2.3-400–2009 «Методика анализа риска для опасных производственных объектов газодобывающих предприятий ОАО «Газпром».

51. При оценке опасности каскадного развития аварии («эффект домино») следует учитывать положения приложения № 3 к Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств».

52. Для целей страхования ответственности для каждого рассматриваемого сценария рекомендуется проводить расчет максимально возможного числа потерпевших, которое определяется числом людей, оказавшихся в превалирующей зоне действия поражающих факторов (исходя из принципа поглощения большей опасностью всех меньших опасностей).

Расчет ожидаемого количества погибших $N_{\text{гиб}}$ в зоне действия поражающих факторов с площадью S_1 рекомендуется проводить по формуле

$$N_{\text{г}} = \iint\limits_{S_1} \mu_{\text{д}}(x,y)\nu_{\text{уяз}}(x,y)P_{\text{гиб}}(x,y)ds, \qquad (1)$$

где $\mu_{\text{д}}(x, y)$ — функция, описывающая территориальное распределение людей в пределах зоны действия поражающих факторов с учетом изменения распределения людей в зависимости от смены, проведения аварийных/регламентных ремонтных или строительных работ на территории опасного производственного объекта, а также влияния организационных и технических мероприятий, направленных на скорейшую эвакуацию персонала из потенциальной зоны воздействия поражающих факторов, таких, как время эвакуации людей из опасной зоны после обнаружения опасности и оповещения об эвакуации; прибытие аварийно-спасательных формирований, в том числе нештатных; перемещение персонала опасного производственного объекта в места сбора при эвакуации, т.е. создание дополнительных мест массового скопления людей;

$\nu_{\text{уяз}}(x, y)$ — коэффициент уязвимости от термического воздействия человека, находящегося в здании (укрытии), зависящий от защитных свойств помещения, укрытия, в котором может находиться человек в момент аварии, и изменяющийся от 0 (человек неуязвим) до 1 (человек не защищен из-за незначительных защитных свойств укрытия);

$P_{\text{гиб}}(x, y)$ — условная вероятность гибели человека в точке территории с координатами (x, y).

53. Величину потенциального риска $R_{\text{пот}}$, год$^{-1}$, в определенной точке (a) на территории площадочного объекта и в селитебной зоне вблизи площадочного объекта рекомендуется определять по формуле

$$R_{\text{пот}} = \sum_{j=1}^{J} Q_{dj}(a)Q_j, \qquad (2)$$

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2014

где J — число сценариев развития аварий;

$Q_{dj}(a)$ — условная вероятность поражения человека в определенной точке территории (a) в результате реализации j-го сценария развития аварии, отвечающего определенному инициирующему аварию событию.

Вероятность поражения человека $Q_{dj}(a)$ в результате реализации j-го сценария развития аварии рекомендуется определять по методическим документам, указанным в пункте 36 настоящего Руководства;

Q_j — частота реализации в течение года j-го сценария развития аварии, год$^{-1}$.

54. Индивидуальный риск для работников объекта рекомендуется оценивать частотой поражения определенного работника объекта в результате аварии в течение года.

Величину индивидуального риска $R_{инд}$, год$^{-1}$, для i-го работника объекта при его нахождении на территории объекта рекомендуется определять по формуле

$$R_{инд} = \sum_{j=1}^{G} q_{ji} P(j) v_{уязj}, \qquad (3)$$

где $P(j)$ — величина потенциального риска в j-й области территории, год$^{-1}$;

q_{ji} — вероятность присутствия работника i в j-й области территории;

G — число областей, на которые условно можно разбить территорию объекта, при условии, что величина потенциального риска на всей площади каждой из таких областей можно считать одинаковой;

$v_{уязj}$ — коэффициент уязвимости от термического воздействия человека, находящегося в j-й области территории объекта в укрытии (здании).

Рекомендуются следующие величины коэффициента уязвимости:

для третьих лиц — жителей населенного пункта: $v_{уяз}(x, y) = 1$;

для персонала ОПО: $v_{уяз}(x, y) = 1$;

для третьих лиц на отдельно расположенных территориях сторонних (внешних) организаций: $v_{уяз} = 0{,}2$;

для мест массового скопления людей: $v_{уяз} = 0{,}5$;

для водителей и пассажиров автотранспорта: $v_{уяз} = 1$;

для поездной бригады и пассажиров железнодорожного транспорта: $v_{уяз} = 0{,}5$.

Вероятность q_{ji} рекомендуется определять исходя из доли времени нахождения рассматриваемого человека в определенной области территории.

Индивидуальный риск для людей, находящихся в зданиях, определяется с учетом потенциального риска разрушения здания при взрыве согласно приложению № 3 к Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств».

55. Индивидуальный риск для жителей населенных пунктов рекомендуется определять в соответствии с формулой (3), принимая $v_{уязj}$ равным единице. Если не представляется возможным оценить вероятность присутствия жителя в каждой области территории, величину индивидуального риска допускается принимать равной значению потенциального риска в жилой, общественно-деловой или рекреационной зоне.

Аналогичным образом рекомендуется определять значения индивидуального риска для иных групп лиц (работников соседних предприятий, посетителей мест массового скопления людей, пассажиров железнодорожного и автотранспорта).

56. Величину коллективного риска рекомендуется определять по формуле

$$R_{колл} = \sum_{j=1}^{J} (N_{гиб})_j Q_j. \qquad (4)$$

57. Социальный риск рекомендуется представлять в виде графика ступенчатой функции $F(x)$, задаваемой уравнением:

$$F(x) = \sum_{j=1}^{N(x)} Q_j^x, \tag{5}$$

где Q_j^x — ожидаемые частоты реализаций аварийных ситуаций C_j, при которых гибнет не менее x человек;

$N(x)$ — число сценариев C_j, при которых гибнет не менее x человек.

Рекомендуется построение кривой социального риска в виде ступенчатой, непрерывной слева, функции $F(x)$ со ступеньками в целочисленных значениях аргумента $x = N_{цj}$, когда:

$$F\left(N_{цj}\right) = F\left(N_j\right) \cdot \frac{N_j}{N_{цj}}, \tag{6}$$

где $N_{цj}$ — ближайшее большее целое число к значению ожидаемого числа погибших N_j при реализации j-го сценария;

$F(N_j)$ — сумма частот сценариев с ожидаемым числом погибших не менее N_j.

Частота аварии с гибелью не менее одного человека равна:

$$R_1 = F(1). \tag{7}$$

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2014

Приложение № 1

к Руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27 декабря 2013 г. № 646

Список сокращений

В настоящем документе применены следующие обозначения и сокращения.

ЖБР — железобетонный резервуар.

НКПР — нижний концентрационный предел распространения пламени.

ОВ — опасное вещество.

ОПО — опасный производственный объект.

ПГФ — парогазовая фаза.

СОД — средства очистки и диагностики.

ТВС — топливно-воздушная смесь.

C — скорость распространения волны в трубопроводе.

d_0 — диаметр трубопровода.

$F(x)$ — социальный риск, год$^{-1}$.

$F(N_j)$ — сумма частот сценариев с ожидаемым числом погибших не менее N_j.

G — число областей, на которые условно можно разбить территорию объекта, при условии, что величина потенциального риска на всей площади каждой из таких областей можно считать одинаковой.

$G_{\text{выбр}}$ — расход на месте выброса.

$G_{\text{до}}$ — расход в трубопроводе до места выброса.

$G_{\text{после}}$ — расход в трубопроводе после места выброса.

$h(x_{\text{до}})$ – высотная отметка начала трубопровода.

$h(x_{\text{после}})$ – высотная отметка конца трубопровода.

J — число сценариев развития аварий соответственно для всего объекта, его отдельных составляющих.

I — импульс.

N_j, ($N_{\text{гиб}\,j}$) — ожидаемое число погибших при реализации j-го сценария.

q_{ji} — вероятность присутствия i-го работника в j-й области территории.

$P_{\text{гиб}}(x, y)$ — условная вероятность гибели человека в точке территории.

P — давление.

$P(j)$ — величина потенциального риска в j-й области территории, год$^{-1}$.

$P_{\text{разр}}$ — давление внутри трубопровода на месте разрушения.

$P_{\text{а}}$ — давление снаружи трубопровода на месте разрушения.

$P_{\text{н}}$ — давление в начале трубопровода.

$P_{\text{к}}$ — давление в конце трубопровода.

$Q_{dj}(a)$ — условная вероятность поражения человека в определенной точке территории (a) в результате реализации j-го сценария аварии, отвечающего определенному инициирующему событию.

Q_j — частота реализации в течение года j-го сценария развития аварии, год$^{-1}$.

Q_j^x — ожидаемые частоты реализации аварийных ситуаций C_j, при которых гибнет не менее x человек.

$N(x)$ — число сценариев C_j, при которых гибнет не менее x человек.

$N_{цj}$ — ближайшее большее целое число к значению ожидаемого числа погибших N_j при реализации j-го сценария.

R — радиус зоны избыточного давления при взрыве ТВС, м.

$R_{инд}$ — индивидуальный среднегрупповой риск гибели в аварии отдельного человека из числа персонала, населения и иных физических лиц, год$^{-1}$.

$R_{колл}$ — коллективный риск гибели (смертельного поражения) человека при аварии (в т.ч. среднегодовое ожидаемое число погибших среди персонала и третьих лиц), чел./год.

$R_{пот}$ — потенциальный территориальный риск гибели человека от аварии (частота возникновения смертельно поражающих факторов аварии в данной точке территории) — частота возникновения смертельно поражающих факторов аварии (потенциальный территориальный риск аварии), год$^{-1}$.

R_1 — частота возникновения аварии с гибелью не менее 1 человека, год$^{-1}$.

S_1 —площадь территоирии, м^2.

$u_{до}$ — скорость среды до места разрушения.

$u_{после}$ — скорость среды после места разрушения.

$x_{до}$ — координата начала трубопровода.

$x_{после}$ — координата конца трубопровода.

ΔP — скачок давления на фронте волны в трубопроводе, сопровождающийся изменением скорости Δu.

λ — коэффициент сопротивления.

$\mu_д(x, y)$ — функция, описывающая территориальное распределение людей в дневное время в пределах зоны действия поражающих факторов.

$\mu_н(x, y)$ — функция, описывающая территориальное распределение людей в ночное время в пределах зоны действия поражающих факторов, x, y — координаты точки территории.

$v_{уяз}(x, y)$ — коэффициент уязвимости от термического поражения человека, находящегося в укрытии (здании).

$v_{уяз\,j}$ — коэффициент уязвимости от термического поражения человека, находящегося в j-й области территории объекта в укрытии (здании).

ρ — плотность транспортируемой среды.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ. 2014

Приложение № 2

к Руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27 декабря 2013 г. № 646

Термины и определения

В настоящем документе применены следующие термины с соответствующими определениями:

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

анализ риска аварии — процесс идентификации опасностей и оценки риска аварии на опасном производственном объекте для отдельных лиц или групп людей, имущества или окружающей природной среды;

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;

декларация промышленной безопасности опасного производственного объекта (декларация) — документ, в котором представлены результаты всесторонней оценки риска аварии, анализа достаточности принятых мер по предупреждению аварии и по обеспечению готовности организации к эксплуатации опасного производственного объекта в соответствии с требованиями норм и правил промышленной безопасности, а также к локализации и ликвидации последствий аварии на опасном производственном объекте;

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;

дефлаграция (дефлаграционный взрыв) — взрыв, при котором нагрев и воспламенение последующих слоев взрывчатого вещества происходит в результате диффузии и теплоотдачи, характеризующийся тем, что фронт ударной волны и фронт пламени движутся с дозвуковой скоростью;

идентификация опасностей аварии — процесс выявления и признания, что опасности аварии на опасном производственном объекте существуют, и определения их характеристик;

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

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

опасность аварии — угроза, возможность причинения ущерба человеку, имуществу и (или) окружающей среде вследствие аварии на опасном производственном объекте. Опасности аварий на опасных производственных объектах связаны с возможностью разрушения сооружений и (или) технических устройств, взрывом и (или) выбросом опасных веществ с последующим причинением ущерба человеку, имуществу и (или) нанесением вреда окружающей природной среде;

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»;

оценка риска аварии — процесс, используемый для определения вероятности (или частоты) и степени тяжести последствий реализации опасностей аварий для здоровья человека, имущества и (или) окружающей природной среды. Оценка риска включает анализ вероятности (или частоты), анализ последствий и их сочетания;

пожар-вспышка — сгорание облака предварительно перемешанной газопаровоздушной смеси без возникновения волн давления, опасных для людей и окружающих объектов;

пожарный риск — мера возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей;

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

составляющие опасного производственного объекта — участки, установки, цеха, хранилища или другие составляющие (составные части), объединяющие технические устройства или их совокупность по технологическому или территориально-административному принципу и входящие в состав опасного производственного объекта;

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

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2014

Приложение № 3

к Руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27 декабря 2013 г. № 646

Пример типовых сценариев для установки пиролиза

Сценарий 1. Разрушение частичное аппарата колонного типа в блоке подготовки сырья → поступление в окружающую среду парогазовой смеси углеводородов (С2–С3) (фракции С3+), нагретой до 95 °С → истечение струи газа под давлением → образование взрывоопасной паровоздушной смеси → дрейф и рассеивание облака → попадание струи газа и/или облака в зону нахождения источника зажигания → воспламенение струи газа с пожаром-вспышкой и образование факела → попадание в зону действия поражающих факторов людей и/или оборудования → последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества.

Сценарий 2. Разрушение полное печи пиролиза в блоке пиролиза и первичного фракционирования → поступление в окружающую среду газовой смеси (водород, оксид углерода, сероводород, углеводороды С1–С4), нагретой до 850 °С → образование взрывоопасной газовоздушной смеси → мгновенное воспламенение облака ТВС → образование факельного пожара → попадание в зону действия поражающих факторов людей и/или оборудования → последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества.

Сценарий 3. Разрушение полное центробежного компрессора пирогаза и/или компрессорного оборудования, и/или трубопроводной обвязки и арматуры в помещении блока компрессии пирогаза щелочной промывки → струйное истечение углеводородных газов (фракции С1–С4) в помещение с его разрушением → образование взрывоопасной газовоздушной смеси → воспламенение ТВС → образование факела горения → попадание в зону действия поражающих факторов людей и/или оборудования → последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества.

Сценарий 4. Разрушение частичное реактора гидрирования в блоке 1-й ступени гидрирования бензина с диаметром отверстия 100 мм → поступление в окружающую среду нагретых до 150 °С углеводородов (фракций С5–С8) → формирование истекающей струи → испарение углеводородов и образование взрывоопасной паровоздушной смеси → попадание струи или ВПО в зону нахождения источника зажигания → воспламенение струи и горение в виде факельного пожара → попадание в зону возможных поражающих факторов людей и/или оборудования → последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества.

Сценарий 5. Разрушение полное колонны отгонки в блоке разделения С3Н6/С3Н8 сырья → поступление в окружающую среду смеси углеводородов (пропан, пропилен) в парогазовой и жидкой фазе с температурой 45 °С → формирование пролива → интенсивное вскипание жидкофазных углеводородов и образование взрывоопасного облака → дрейф и рассеивание облака → попадание облака в зону нахождения источника зажигания → воспламенение парогазового облака → взрыв облака → попадание в зону действия поражающих факторов людей и/или оборудования → последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества.

Сценарий 6. Разрушение полное колонны отгонки в блоке разделения С3Н6/С3Н8 сырья → поступление в окружающую среду смеси углеводородов (пропан, пропилен) в парогазовой и жидкой фазе с температурой 45 °С → формирование пролива → интенсивное вскипание жидкофазных углеводородов и образование взрывоопасного облака → мгновенное воспламенение парогазового облака → образование площадного пожара → попадание в зону действия поражающих факторов людей и/или оборудования → последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества.

Сценарий 7. Разгерметизация (частичное разрушение) деметанизатора в блоке разделения С1/С2 → поступление в окружающую среду под давлением газообразных углеводородов → формирование истекающей газовой струи → попадание газовой струи и/или попадание облака топливной смеси в зону нахождения источника зажигания → воспламенение газовой струи и образования факела или взрыв облака ТВС → попадание в зону возможных поражающих факторов людей и/или оборудования → последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества.

Сценарий 8. Разрушение (частичное или полное) соседнего резервуара хранения бутадиена промежуточного парка хранения С4 → поступление в окружающую среду паров углеводорода и/или разлив жидкой фазы в обвалование → интенсивное испарение жидкой фазы в обваловании → смешение паров углеводорода с воздухом и образование ТВС — воздушно-парового облака → дрейф и рассеивание ВПО → попадание ВПО в зону нахождения источника зажигания → воспламенение и взрыв ВПО → возможное последующее горение разлитого углеводорода в обваловании → попадание в зону возможных поражающих факторов людей и/или соседнего резервуара → внешний нагрев рассматриваемого резервуара с бутадиеном → выброс вскипающего углеводорода в пароаэрозольном состоянии и формирование взрывопожароопасного облака и разлетом осколков → дрейф и воспламенение облака при попадании в зону нахождения источника зажигания → объемное горение (огненный шар) → последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества.

Сценарий 9. Разрушение полное резервуара хранения бензина промежуточного парка хранения бензина → поступление в обвалование бензина → испарение бензина в обваловании → смешение паров бензина с воздухом и образование воздушно-парового облака → воспламенение ВПО в месте выброса → пожар-вспышка и последующее горение разлитого углеводорода в обваловании → попадание в зону возможных поражающих факторов людей и/или оборудования → последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества.

Сценарий 10. Разрушение полное резервуара изотермического хранения сырья пиролиза парка сырья пиролиза (углеводороды ряда С2–С3) → поступление в окружающую среду паров пропана и бутана и/или разлив жидких углеводородов в обвалование → интенсивное испарение жидкой фазы в обваловании → смешение паров углеводородов с воздухом и образование воздушно-парового облака → дрейф и рассеивание ВПО → попадание ВПО в зону нахождения источника зажигания → воспламенение и взрыв ВПО → попадание в зону возможных поражающих факторов людей и/или оборудования → последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества.

Сценарий 11. Разрушение полное резервуара изотермического хранения сырья пиролиза парка сырья пиролиза (углеводороды ряда С2–С3) → поступление в окружающую среду паров пропана и бутана и/или разлив жидких углеводородов в обва-

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2014

лование → интенсивное испарение жидкой фазы в обваловании → смешение паров углеводородов с воздухом и образование воздушно-парового облака и его мгновенное зажигание → последующее горение пролива углеводородов в обваловании (пожар) → попадание в зону возможных поражающих факторов людей и/или оборудования → последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества.

Сценарий 12. Частичное разрушение трубопроводной обвязки и/или арматуры насоса некондиционного этилена → поступление в окружающую среду жидкого углеводорода в виде струи → интенсивное испарение жидкого этилена, смешение паров с воздухом → воспламенение газовой струи и формирование факела → попадание в зону возможных поражающих факторов людей и/или оборудования → последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества.

Приложение № 4
к Руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27 декабря 2013 г. № 646

Пример деревьев событий при авариях на оборудовании, содержащем опасные вещества

Первый вариант возможных аварий представляет собой разгерметизацию одного резервуара с истечением ОВ в обвалование или за его пределы (далее — сценарий A_1). Второй вариант состоит в образовании шлейфа паров ОВ на дыхательной арматуре/ на зазоре (для резервуаров с плавающей крышей) и его зажигании с формированием факела/очага горения (далее — сценарий A_2). В третьем варианте рассматривается образование ТВС в резервуаре в результате испарения ОВ с последующим воспламенением и взрывом (далее — сценарий A_3).

Четвертый вариант представляет собой истечение ОВ из подземного ЖБР в результате переполнения в обвалование или за его пределы (далее — сценарий A_4). Пятый вариант состоит в образовании шлейфа паров ОВ на дыхательной арматуре подземного ЖБР и его зажигании с формированием факела/очага горения (далее — сценарий A_5). В шестом варианте рассматривается образование ТВС в подземном ЖБР с последующим воспламенением и взрывом (далее — сценарий A_6).

Сценарий A_1. Частичное или полное разрушение единичного резервуара с ОВ; задвижек, фланцевых соединений, переполнение резервуара → при отрыве от резервуара отдельных элементов, их разлет и воздействие на людей и объекты → поступление в окружающую среду ОВ (жидкой фазы и паров) с температурой окружающей среды → возможное разрушение соседних резервуаров (при полном разрушении аварийного резервуара) → разлив ОВ на ограниченной обвалованием поверхности/ разлив ОВ за пределами обвалования → в случае мгновенного воспламенения воспламенение ОВ на месте выброса, горение ОВ в/за обвалованием и/или в резервуаре/резервуарах → в случае отсутствия мгновенного воспламенения частичное испарение ОВ → при наличии струйного приподнятого над землей истечения возможно образование капельной взвеси в воздухе → образование облака взрывоопасной смеси паров ОВ с воздухом → распространение пролива и взрывоопасного облака парогазовой смеси → попадание паро-, капельно-воздушного облака или разлитого ОВ в зону нахождения источника зажигания → сгорание/взрыв взрывоопасного облака → воздействие на людей и объекты волн сжатия, тепловое воздействие (пламя, излучение и контакт с горячими продуктами), воздействие продуктов сгорания облака → возможное воспламенение ОВ на месте выброса, горение ОВ в/за обвалованием, в резервуаре/резервуарах → воздействие горящего пролива (тепловое излучение, воздействие открытым пламенем, горячие продукты горения) на людей и объекты, в т.ч. образование факелов на дыхательной арматуре и иных технических устройствах, взрывы в соседних резервуарах (в т.ч. находящихся в одном обваловании), попадание открытого пламени и искр на резервуары с плавающей крышей и их возгорание, потеря устойчивости резервуаров, дополнительный выброс ОВ в/за обвалование, выброс горящего ОВ при вскипании воды → попадание в зону возможных поражающих факторов людей, оборудования и/или объектов окружающей среды → последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2014

Дерево событий для сценария A_1 приведено на рис. 4-1. Конечные ветви дерева событий, отмеченные словом «Прекращение аварии», при наличии на этих ветвях горения будут сопровождаться воздействиями, перечисленными выше в описании сценариев.

В случае если такое приводит к дополнительному выбросу ОВ и/или появлению новых очагов горения как на рассматриваемом резервуаре, так и на соседних, то соответствующая конечная ветвь на дереве событий будет служить отправной точкой нового дерева событий данной аварийной ситуации. Например, при горении в обваловании и потере резервуаром устойчивости необходимо рассмотреть также и дерево событий для полного разрушения резервуара при наличии мгновенного воспламенения.

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

а) прекращение аварии в случае успешных действий;

б) продолжение аварии в случае неудачи.

Данное ветвление должно учитываться при расчете условных вероятностей конечных событий, что достигается путем умножения соответствующей условной вероятности (а, 1-а и т.д.) на условную вероятность успешности тушения пожара. Процедура выполняется для каждой ветви дерева событий, на которой предпринимается соответствующее действие. Вероятность успешного тушения пожара в резервуаре принимается 0,3. Вероятность успешного тушения пожара за пределами резервуара принимается 0,05.

На рис. 4-1 принимаются следующие условные вероятности событий:

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

б) разрушение соседних (находящихся в одном обваловании) резервуаров и дополнительный выброс ОВ (*b*):

1) для длительных выбросов — 0;

2) для залповых – 0,05;

в) пролив за пределы обвалования (*c*) – при длительном выбросе: 1 – если приподнятая струя, образующаяся при истечении из резервуара, выпадает за пределы обвалования и 0 в противном случае; при залповом выбросе: 0 – если конструкция обвалования вмещает все выброшенные ОВ, исключает перехлест ОВ через обвалование и его разрушение/размыв; 1 — в противном случае;

г) мгновенное воспламенение и образование горящих проливов (*d*) — 0,05;

д) образование дрейфующего облака топливно-воздушной смеси (*e*) — для всех дизтоплив и нефтей с давлением насыщенных паров менее 10 кПа — 0, в остальных случаях — 1;

е) образование капельной взвеси ОВ в атмосфере (*f*) — для бензинов и керосинов при высоте выброса более 5 м — 1; в остальных случаях — 0;

ж) появление на пути дрейфующего облака источника зажигания (*g*) — 0,05.

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

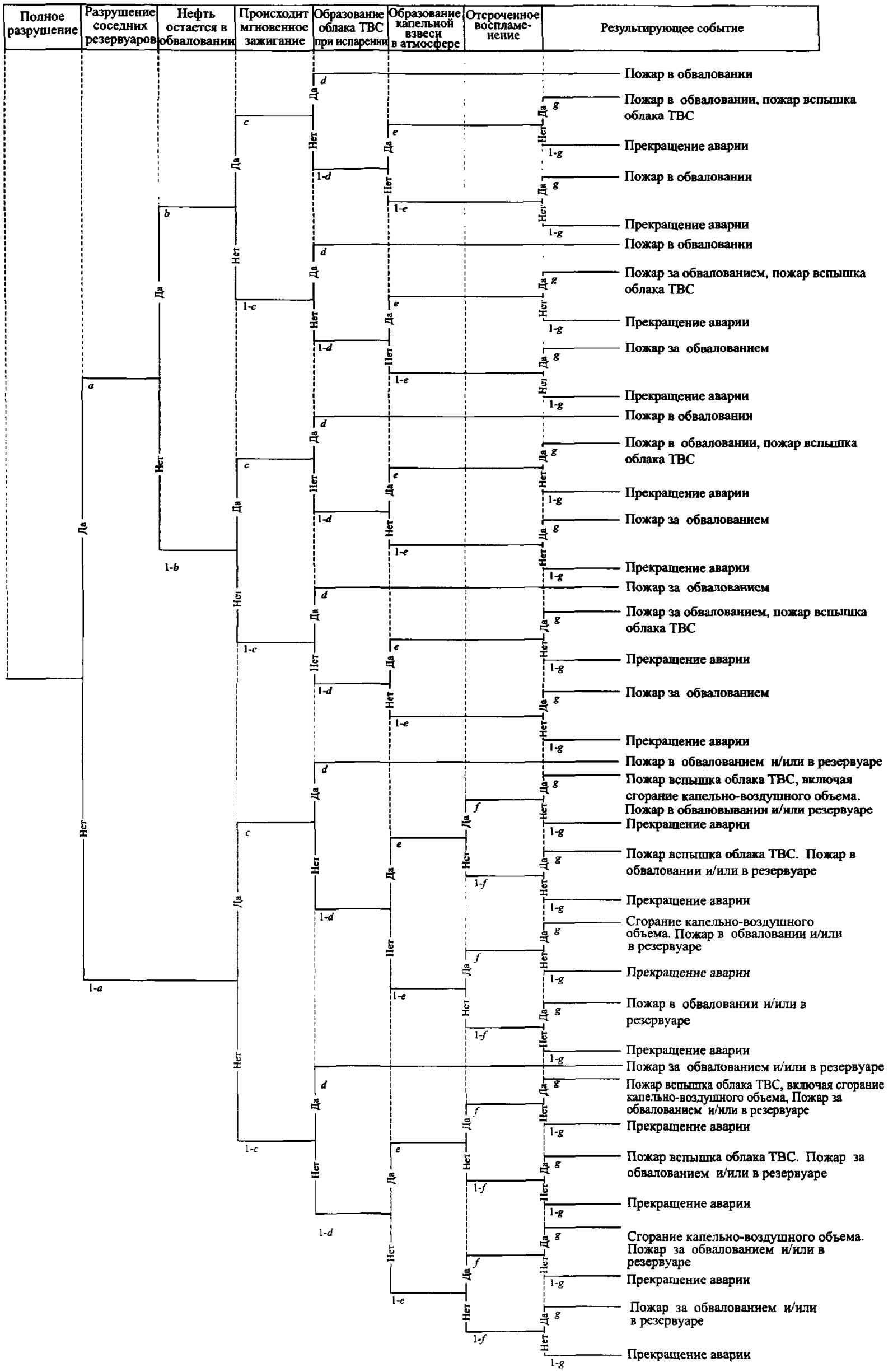

Рис. 4-1. «Дерево событий» разрушения/перелива наземного резервуара (сценарий A_1)

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2014

Сценарий A_2. Образование облака паров ОВ при сбросе через дыхательную арматуру (большие и малые дыхания), в местах негерметичности сочленения пенных камер с корпусом резервуара, открытые люки и т.д., за счет локального испарения на зазоре плавающей крыши → загазованность окружающего пространства с образованием объемов ТВС во взрывоопасных пределах, их воспламенение → сгорание/взрыв облака ТВС, воздействие на людей и объекты волн сжатия, тепловое воздействие (излучение, пламя и контакт с горячими продуктами), воздействие продуктов → образование факела на дыхательной арматуре/на зазоре при стабилизации горения на месте выброса паров → воздействие факела на близлежащие объекты, в т.ч. переброс факела на дыхательную арматуру другого резервуара, взрывы в соседних резервуарах из-за нагрева паров внутри резервуара, попадание открытого пламени и искр на резервуары с плавающей крышей, разрушение оборудования за счет воздействия пламенем или горячими продуктами горения, задымление → распространение горения на весь резервуар, возможно, со взрывом ТВС в резервуаре → переход горения на поверхность жидкости, возможное обрушение крыши (полное или частичное); выгорание ОВ в резервуаре, воздействие на людей и соседнее оборудование (тепловое излучение, воздействие открытым пламенем, горячие продукты горения), в т.ч. горения на дыхательную арматуру другого резервуара, инициирование новых очагов горения на других резервуарах с плавающей крышей, взрывы в соседних резервуарах из-за нагрева паров внутри резервуара, попадание открытого пламени и искр на резервуары с плавающей крышей, разрушение оборудования за счет воздействия пламенем или горячими продуктами горения, задымление → выброс горящего ОВ из резервуара при обрушении крыши (либо при разрушении резервуара, либо при переливе горящего продукта), при проведении пенной атаки → образование «карманов», продолжение пожара → выброс горящего ОВ при вскипании воды в резервуаре → потеря резервуаром устойчивости, его полное разрушение в результате пожара.

Дерево событий для сценария A_2 приведено на рис. 4-2.

На рис. 4-2 принимаются следующие условные вероятности событий:

а) воспламенение шлейфа паров ОВ (a) — 0,05;

б) прекращение горения (b) — 0,75;

в) зажигание ОВ в резервуаре (c) — 0,2 или в зависимости от надежности огнепреградителей или с учетом способности потушить пожар на зазоре;

г) при переходе горения на резервуар в резервуаре происходит взрыв (d) — 0,2 — для резервуаров со стационарной крышей и 0 — для резервуаров с плавающей крышей;

д) взрыв вызывает разрушение резервуара (в т.ч. обрушение крыши с переливом горящего продукта) (e) — 0,5;

е) при проведении пенной атаки произошел перелив ОВ — 0,2 (в случае отсутствия данного варианта — пенной атаки — не задается);

ж) образование «карманов», продолжение пожара (f) — 0,2;

и) выброс горящего ОВ при вскипании воды в резервуаре (g) — в зависимости от обстоятельств;

к) потеря устойчивости резервуара при пожаре в нем (h) — в зависимости от обстоятельств.

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

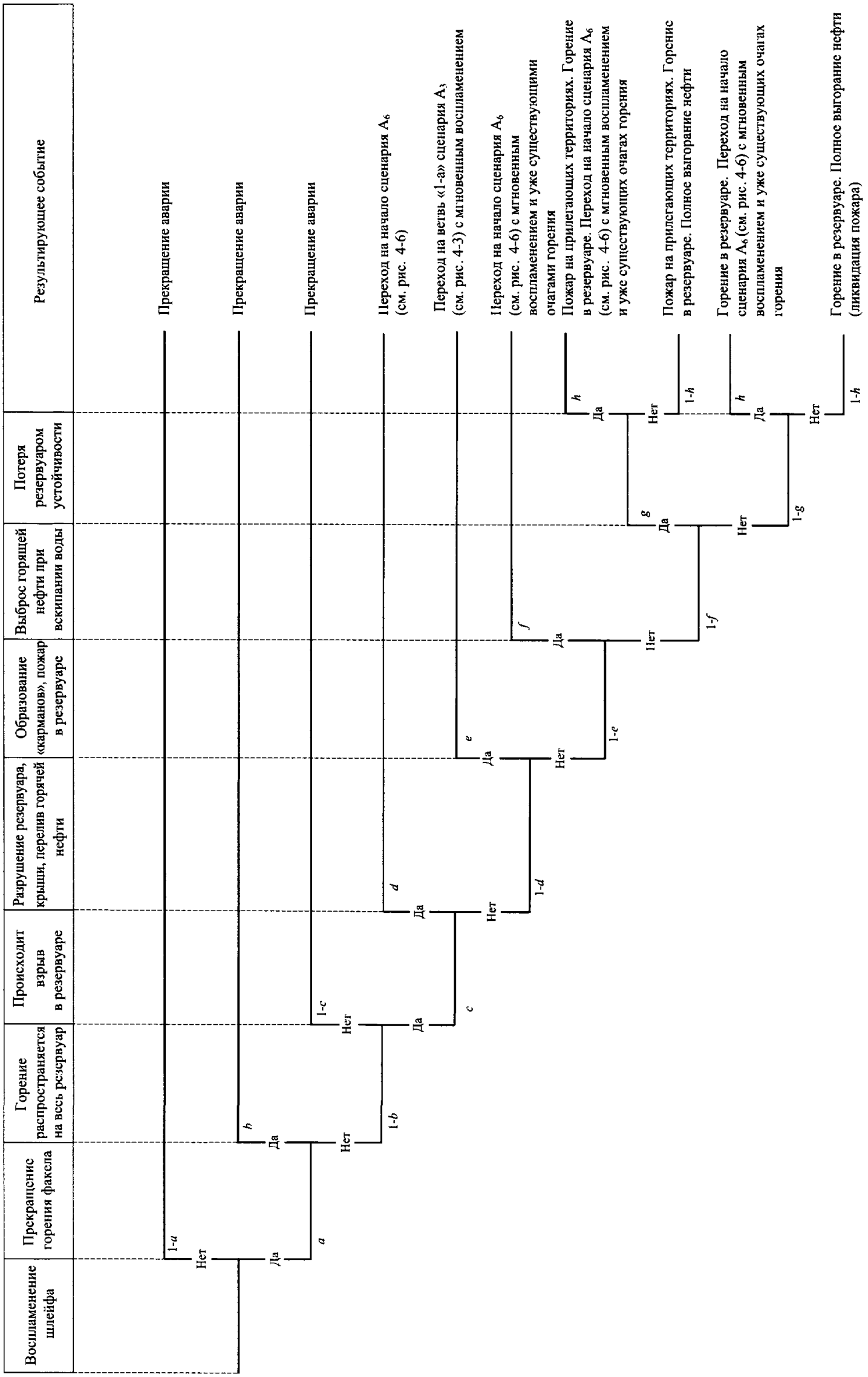

Рис. 4-2. Дерево событий при выходе газовой фазы с наземного резервуара (сценарий A_2)

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ. 2014

Сценарий A_3. Образование в резервуаре ТВС (в результате испарения ОВ, подсоса воздуха), инициирование смеси (заряды атмосферного и статического электричества, огневых работ, пирофорные отложения, внешний нагрев и т.д.), сгорание/взрыв внутри резервуара → поражение взрывом объектов и людей, прежде всего, находившихся в резервуаре, на крыше вблизи от него (волны сжатия и разрежения — затягивание в резервуар, открытое пламя, горячие продукты взрыва, излучение) → возможное последующее разрушение резервуара, образование осколков, воздействие осколков на людей, окружающее оборудование.

Далее развитие аварии может идти по одному из вариантов:

а) ОВ начинают поступать из резервуара наружу (вариант 1);

б) ОВ остаются в резервуаре (вариант 2).

В случае варианта 1 дальнейшие события развиваются по сценарию A_1. В случае развития по варианту 2 после взрыва в резервуаре может начаться пожар, и тогда авария будет развиваться по сценарию A_2 (с момента загорания в резервуаре). Если пожар не возникает, то развитие аварийной ситуации можно считать законченной.

Дерево событий для сценария A_3 приведено на рис. 4-3.

Сценарии A_4–A_6 аналогичны сценариям A_1–A_3, но, учитывая подземное расположение резервуара, будут иметь место следующие различия:

а) выброс жидкой фазы может возникнуть только при переполнении резервуара, причем разливы при этом могут происходить только на специально предусмотренных местах (приямки и т.д.);

б) полное разрушение резервуара и залповый выброс содержимого исключен, поскольку грунт всегда выполняет функцию стенок.

Дерево событий для сценария A_4 приведено на рис. 4-4. Дерево событий для сценария A_5 приведено на рис. 4-5. Дерево событий для сценария A_6 приведено на рис. 4-6.

На рис. 4-3 принимаются следующие условные вероятности событий:

а) при взрыве внутри резервуара образуются разлетающиеся элементы резервуара (*a*) — 0,02;

б) ОВ остаются в резервуаре и не поступают за его пределы (*b*) — 0,75;

в) зажигание ОВ в резервуаре при отсутствии выброса из него (*c*).

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

На рис. 4-4 принимаются следующие условные вероятности событий:

а) мгновенное воспламенение и образование горящих проливов (*d*) – 0,05;

б) образование дрейфующего облака ТВС (*e*) — для всех дизтоплив и нефтей с давлением насыщенных паров менее 10 кПа — 0, в остальных случаях — 1;

в) появление на пути дрейфующего облака источника зажигания (*g*) — 0,05.

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

На рис. 4-5 принимаются следующие условные вероятности событий:

а) воспламенение шлейфа паров ОВ (*a*) – 0,05;

б) прекращение горения (*b*) — 0,75;

в) зажигание ОВ в резервуаре (*c*) — 0,2 или в зависимости от надежности огнепреградителей или с учетом способности потушить пожар на зазоре;

г) при переходе горения на резервуар в резервуаре происходит взрыв (*d*) — 0,2;

д) взрыв вызывает разрушение резервуара (разрушение крыши) (*e*) — 0,5;

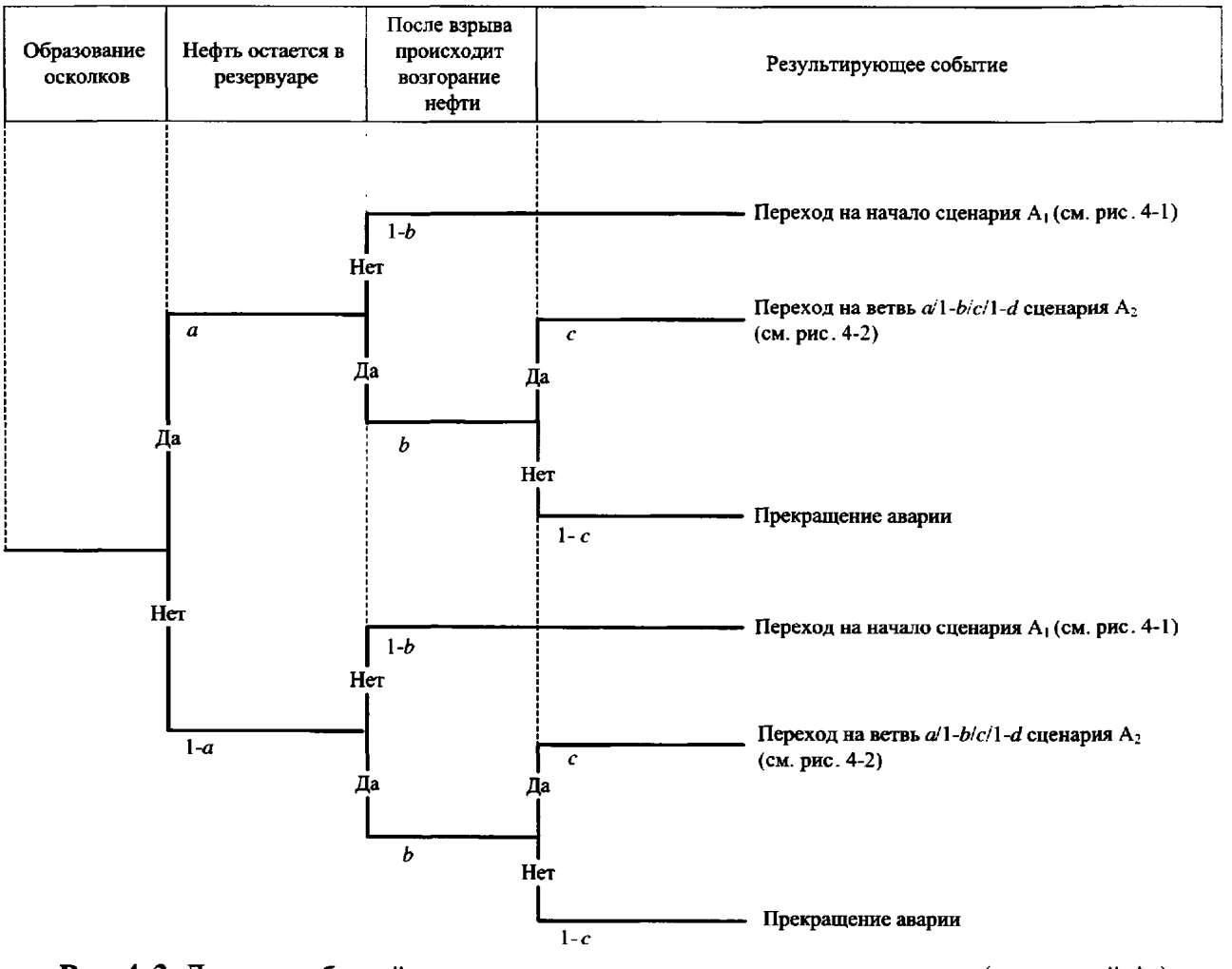

Рис. 4-3. Дерево событий при взрыве внутри наземного резервуара (сценарий A_3)



Рис. 4-4. Дерево событий разрушения/перелива подземного резервуара (сценарий A_4)

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2014

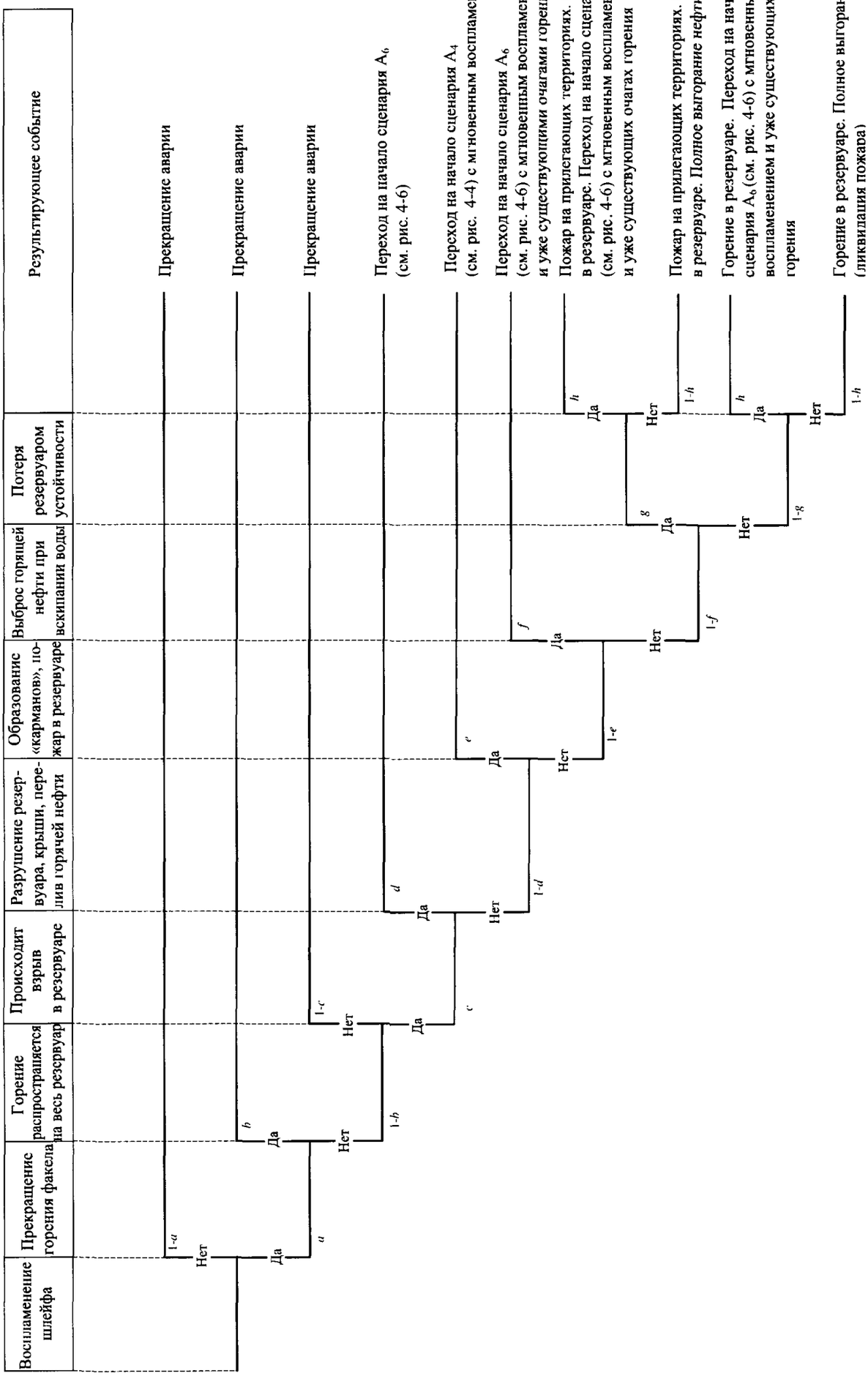

Рис. 4-5. Дерево событий при выходе газовой фазы из подземного резервуара (типа ЖБР) (сценарий A_5)

е) при проведении пенной атаки произошел перелив ОВ — 0,2 (в случае отсутствия данного варианта — пенной атаки — не задается);

ж) образование «карманов», продолжение пожара (*f*) — 0,2;

л) выброс горящего ОВ при вскипании воды в резервуаре (*g*) — в зависимости от обстоятельств;

м) потеря устойчивости резервуара при пожаре в нем (*h*) — в зависимости от обстоятельств.

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

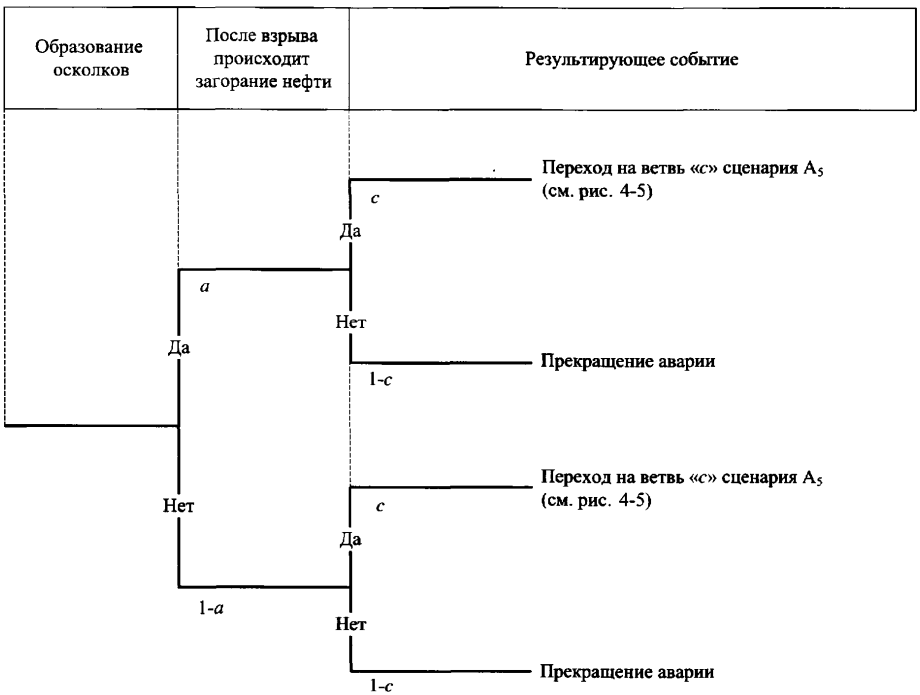

Рис. 4-6. Дерево событий при взрыве внутри подземного резервуара (типа ЖБР) (сценарий A_6)

На рис. 4-6 принимаются следующие условные вероятности событий:

а) при взрыве внутри резервуара образуются разлетающиеся элементы крыши резервуара (*a*) — 0,02;

б) зажигание ОВ в резервуаре при отсутствии выброса из него (*c*) — 0,2.

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

Сценарии A_7–A_8 рассматривают емкости под давлением, в которых исключена возможность внутренних взрывов.

Сценарий A_7. Разрушение (частичное или полное) емкости с ОВ → поступление в окружающую среду ОВ → образование и распространение пролива ОВ и его частичное испарение → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → воспламенение паров ОВ и/или пролива ОВ при наличии источника зажигания → сгорание топливно-воздушной смеси → пожар разлития → попадание в зону возможных поражаю-

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2014

щих факторов людей, оборудования и/или объектов окружающей среды → последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества.

Сценарий A_8 аналогичен сценарию A_7 с той лишь разницей, что подземное расположение емкости предполагает отсутствие возможности полного разрушения и пролива жидкой фазы. Дерево событий для сценария A_7 приведено на рис. 4-7.

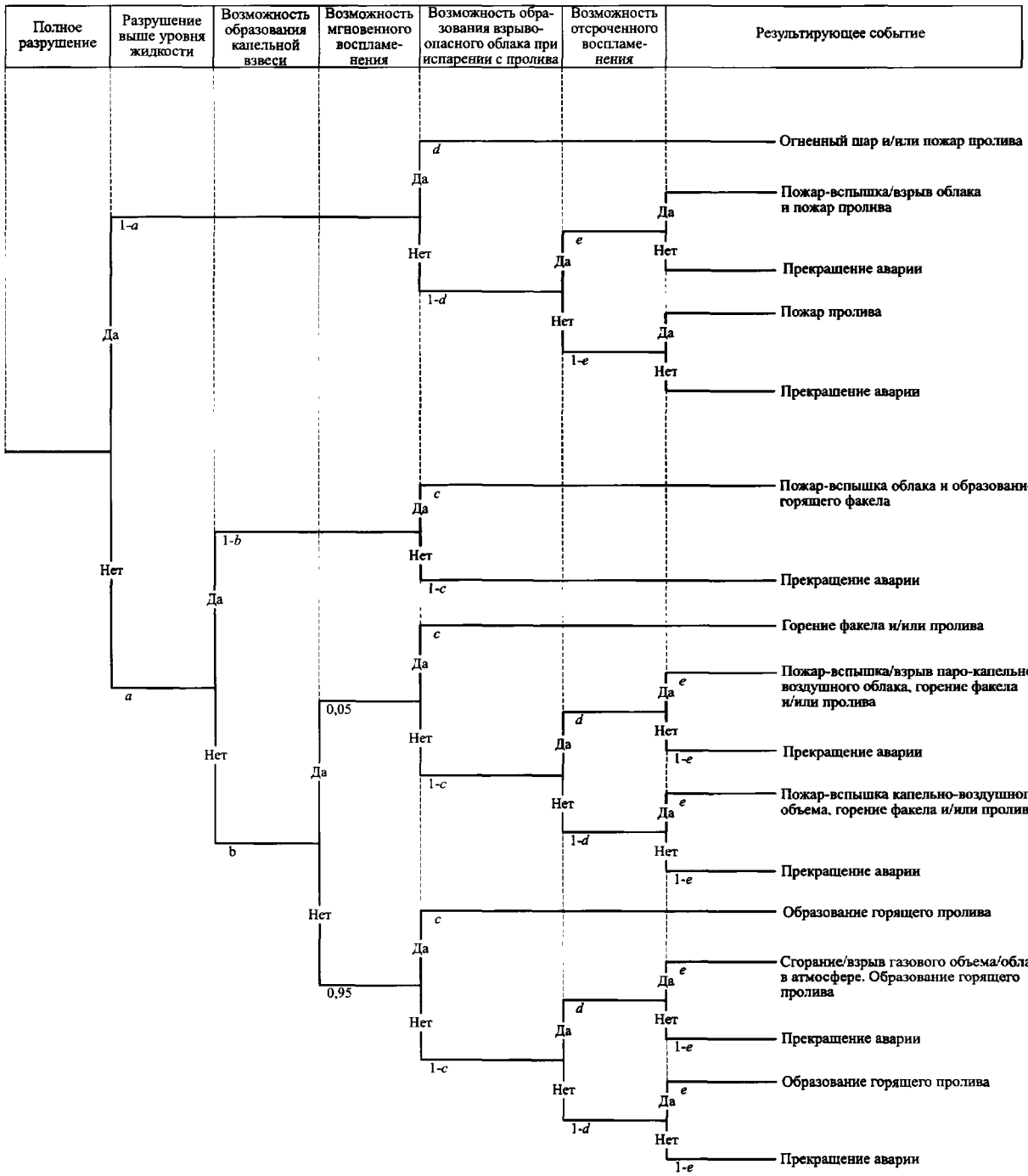

Рис. 4-7. Дерево событий при разрушении емкости под давлением (сценарий A_7)

Сценарий A_8. Разрушение (частичное или полное) емкости с ОВ → поступление в окружающую среду ОВ → раскрытие емкости, формирование открытого зеркала ОВ и его частичное испарение → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → воспламенение паров ОВ и/или пролива ОВ при наличии источника зажигания → сгорание топливно-воздушной смеси → пожар разлития → попадание в зону

возможных поражающих факторов людей, оборудования и/или объектов окружающей среды → последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества.

Дерево событий для сценария A_8 приведено на рис. 4-8.

На рис. 4-7 принимаются следующие условные вероятности событий:

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

б) разрушение ниже уровня жидкости (*b*) — пропорционально отношения 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*) — для всех дизтоплив и нефтей с давлением насыщенных паров менее 10 кПа — 0, в остальных случаях — 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).

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

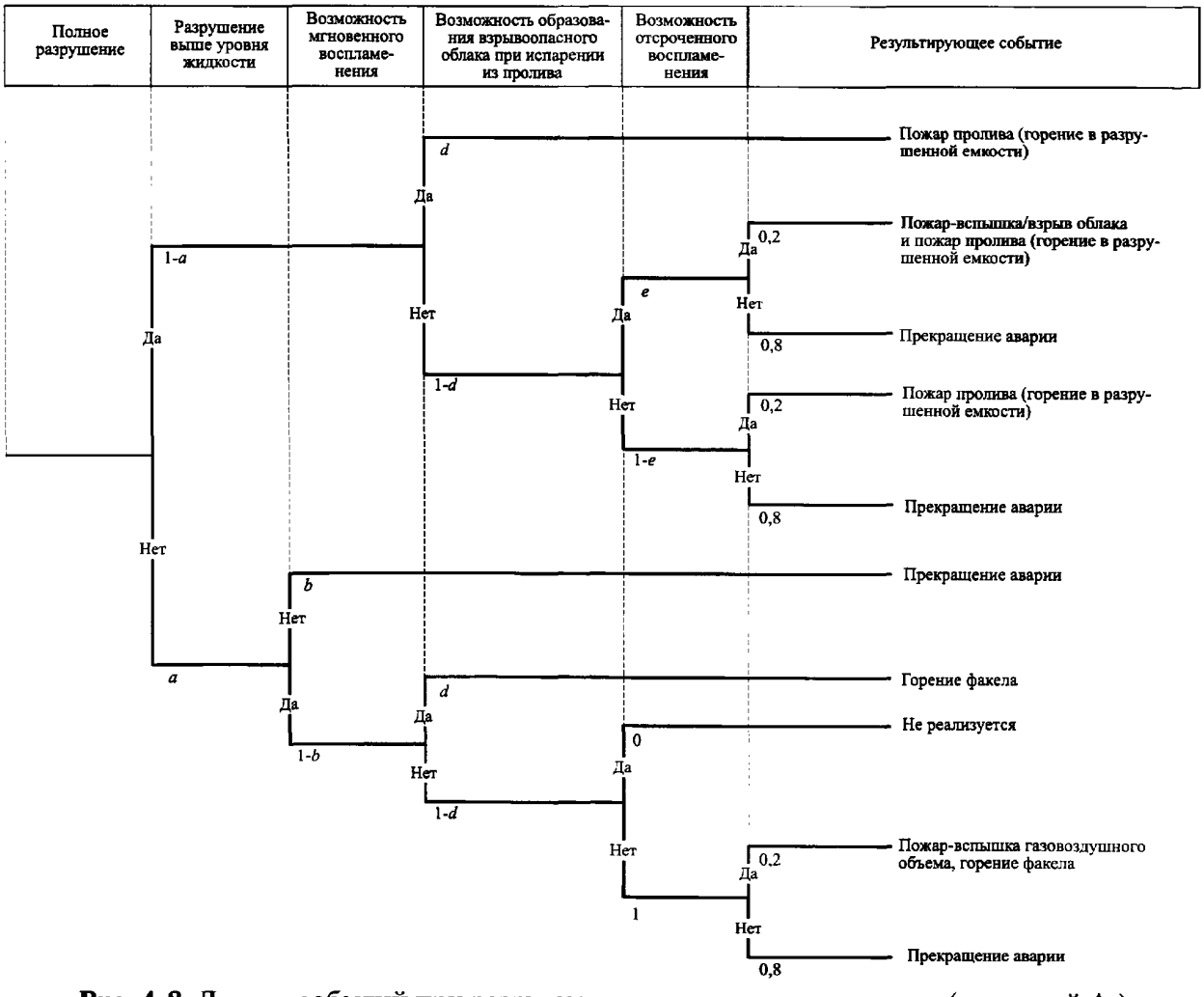

Рис. 4-8. Дерево событий при разрушении емкости под давлением (сценарий A_8)

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ. 2014

На рис. 4-8 принимаются следующие условные вероятности событий:

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

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

в) возможность образования капельной взвеси (*c*) — 0,5;

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

д) образование дрейфующего облака ТВС (*e*) — для всех ОВ с давлением насыщенных паров менее 10 кПа — 0, в остальных случаях — 1;

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

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

Сценарий A_9. Разрушение (частичное или полное) насосного агрегата или подводящего трубопровода → поступление (в т.ч. в помещение) ОВ с температурой окружающей среды → распространение пролива ОВ в помещении (за его пределами) и его частичное испарение → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → воспламенение паровоздушной смеси, разлитого ОВ при наличии источника зажигания → взрыв/сгорание паров и возможное последующее горение разлитого ОВ → пожар → разрушение насосной, попадание в зону возможных поражающих факторов людей, оборудования и/или объектов окружающей среды → последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества.

Дерево событий для сценария A_9 приведено на рис. 4-9.

Сценарий A_{10}. Разрушение (частичное или полное) технологического трубопровода/трубопроводной арматуры/камеры приема и пуска СОД → поступление в окружающую среду нефти разлитого ОВ с температурой окружающей среды → образование и распространение пролива, его частичное испарение → образование взрывоопасной концентрации паров нефти разлитого ОВ в воздухе → воспламенение паров ОВ и/или пролива ОВ при наличии источника зажигания → сгорание топливно-воздушной смеси → пожар разлития → попадание в зону возможных поражающих факторов людей, оборудования и/или объектов окружающей среды → последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества.

На рис. 4-9 принимаются следующие условные вероятности событий:

а) возможность образования капельной смеси (*a*) — 0,3;

б) мгновенное воспламенение и образование горящих проливов/факелов (*b*) — 0,05;

в) образование ТВС (*c*) — для всех ОВ с давлением насыщенных паров менее 3 кПа (насосы в помещении) и 10 кПа (насосы в открытой площадке) — 0, в остальных случаях — 1;

г) появление на пути дрейфующего облака источника зажигания (*d*) — 0,05.

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

Таким образом, основными поражающими факторами в случае аварий на площадочных сооружениях являются:

а) ударная волна;

б) тепловое излучение;

в) открытое пламя и горящие ОВ;

г) токсичные продукты горения (в т.ч. с высокой температурой);

д) осколки разрушенного оборудования, обрушения зданий и конструкций.



Рис. 4-9. Дерево событий при аварии в насосных (сценарий $А_9$)

Перечисленные сценарии аварий включают в себя и сценарии, развитие которых сопровождается так называемым «эффектом домино». Этот эффект учитывается на последних этапах 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 резервуаре вследствие нагрева;

д) при контакте пламени с загазованной областью с концентрацией выше НКПР (таким образом может передаваться горение с дыхательного клапана одного резервуара на дыхательный клапан другого резервуара);

е) при выбросе горящего ОВ, разлете искр и нагретых элементов по территории, прилегающей к месту аварии.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2014

Приложение № 5

к Руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27 декабря 2013 г. № 646

Рекомендуемый порядок расчета истечения опасных веществ из технологических трубопроводов

При аварийном истечении опасных веществ из разрушенных технологических трубопроводов необходимо учитывать гидравлические параметры трубопроводов и влияние на скорость выброса потерь на трение при движении среды по трубопроводу. Для определения скорости выброса $G_{выб}$ через отверстие разрушение площади S используется следующая система уравнений:

$$\left[\frac{P_н}{\rho g}+h(x_{до})\right]-\left[\frac{P_{разр}}{\rho g}+h_{разр}\right]=\lambda(u_{до})\frac{x_{разр}-x_{до}}{d_0}\frac{u_{до}|u_{до}|}{2g};$$

$$\left[\frac{P_{разр}}{\rho g}+h_{разр}\right]-\left[\frac{P_к}{\rho g}+h(x_{после})\right]=\lambda(u_{после})\frac{x_{после}-x_{разр}}{d_0}\frac{u_{после}|u_{после}|}{2g};$$

$$G_{выбр}=0{,}6S\sqrt{2\rho(P_{разр}-P_а)};$$

$$G_{выбр}=G_{до}-G_{после};$$

$$-G_{до}=0{,}25\pi d_0^2\rho u_{до};$$

$$G_{после}=0{,}25\pi d_0^2\rho u_{после}, \qquad (5\text{-}1)$$

где $P_н$ — давление в начале трубопровода;
ρ — плотность транспортируемой среды;
$P_{разр}$ — давление внутри на месте разрушения;
$h(x_{до})$ — высотная отметка начала трубопровода;
$x_{до}$ — координата начала трубопровода;
$x_{после}$ — координата конца трубопровода;
$h(x_{после})$ — высотная отметка конца трубопровода;
$P_а$ — давление снаружи на месте разрушения;
d_0 — диаметр трубопровода;
$u_{до}$ — скорость среды до места разрушения;
$P_к$ — давление в конце трубопровода;
$u_{после}$ — скорость среды после места разрушения;
$G_{выбр}$ — расход на месте выброса;
$G_{до}$ — расход в трубопроводе до места выброса;
$G_{после}$ — расход в трубопроводе после места выброса.

Эта система уравнений (5-1) содержит шесть переменных, которые нужно отыскивать ($u_{после}$, $u_{до}$, $G_{выбр}$, $G_{после}$, $G_{до}$, $P_{разр}$), используя шесть вышеприведенных уравнений.

При равенстве давления на месте разрушения $P_{разр}$ давлению в окружающей среде $P_а$ третье уравнение не рассматривается.

Коэффициенты сопротивления λ учитывают трение о стенки и наличие на трубопроводе различных элементов, также способствующих падению давления: стыки, повороты, изменения диаметров, задвижки. Коэффициенты λ рекомендуется рассчиты-

вать в соответствии со справочником по гидравлическим сопротивлениям (Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга, 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1997. 672 с.). При расчете λ учитывается и многофазность, если в трубопроводе движется газожидкостная среда.

Давление в начале и в конце трубопровода $P_н$ и $P_к$ определяется в соответствии с характеристиками установленного в начале и в конце оборудования (напорные характеристики насосов, конфигурации соединения насосов, давления в емкостях). После отсечения аварийного участка трубопровода давления в начале и в конце трубопровода $P_н$ и $P_к$ давления в начале и в конце трубопровода полагаются равными давлению насыщенных паров транспортируемой среды (вакуумметрическое давление), а величины $x_{до}$, $x_{после}$, $h(x_{до})$, $h(x_{после})$ соответствуют положению границы свободного зеркала жидкости в трубопроводе. Эти величины ($x_{до}$, $x_{после}$, $h(x_{до})$, $h(x_{после})$) корректируются соответствующим образом по мере вытекания продукта, в т.ч. с учетом изменения профиля $h(x)$.

В случае необходимости учета нестационарности процесса истечения за счет изменения граничных условий на трубопроводе (постепенное изменение давлений и подачи) соответствующим образом меняются параметры, входящие в систему выписанных уравнений (5-1) ($P_н$ и $P_к$).

В случае необходимости учета нестационарности процесса истечения за счет циркуляции волн в трубопроводе система выписанных уравнений (5-1) записывается отдельно для участков разделенных фронтами циркулирующих волн с заданием соответствующих условий скачка параметров на этих фронтах:

$$\Delta P = C\rho\Delta u. \qquad (5\text{-}2)$$

При учете наличия фронтов исходная система (5-1) для каждого фронта дополняется дополнительной переменной ΔP — скачок давления на фронте волны, сопровождающийся изменением скорости Δu. Величина ΔP находится из дополнительного условия (5-2). В формуле (5-2) C — скорость распространения волны в трубопроводе.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2014

Приложение № 6

к Руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27 декабря 2013 г. № 646

Пример расчета параметров выброса массы опасных веществ для технологического блока подготовки сырья производства полиэтилена

Ниже в табл. 6-1 приведен перечень основного технологического оборудования, в котором обращаются опасные вещества площадки производства полиэтилена.

Таблица 6-1

Перечень основного технологического оборудования, в котором обращаются опасные вещества площадки производства полиэтилена

Наименование оборудования, № по схеме	Объем ПГФ в аппарате, м^3	Количество ПГФ, кг	Давление, МПа (абс.)	Температура, °С	Масса из смежных аппаратов, кг/с	Масса ТВС, т
Сепаратор этилена	20,5	1009	3,401	30	1542	2551
Адсорбер этилена от O_2	11,4	415	3,321	79,9	1542	1957
Адсорберы этилена от CO	11,7	392	3,251	94,9	1542	1934
Адсорберы этилена	33,4	1408	3,131	37,6	771	2179
мтр 1-й теплообменник	15,6	571	3,131	37,6	1542	2113
тр 1-й теплообменник	11,8	497	3,331	80	1542	2039
мтр подогреватель	1,7	57	3,271	95	1542	1599
мтр холодильник компрессора	1,7	154	5,251	34,1	1542	1696
мтр 2-й теплообменник	1,1	39	3,211	90	1542	1581
тр 2-й теплообменник	0,7	24	3,291	84,3	1542	1565
A/B компрессоры	0,2	12	5,301	86	1542	1554

Примечание. Мтр — межтрубное пространство аппарата. Тр — трубное пространство аппарата.

Для расчетов последствий аварий важной характеристикой является не только масса углеводородов в облаке, но и температура облака ТВС. Учитывая, что процесс истечения является струйным, поэтому в начале температура выбрасываемого газа равняется температуре среды в аппарате, а в дальнейшем уменьшается.

Рассмотрим пример развития аварии на сепараторе этилена. В результате катастрофического разрушения без мгновенного загорания практически все содержимое переходит в облако ТВС. При этом согласно термодинамическим расчетам (Викторов С.Б., Губин С.А. Применение системы термодинамических расчетов TDS для моделирования физико-химических процессов // Научная сессия «МИФИ-99». Сборник научных трудов. М.: МИФИ, 1999) температура в облаке ПГФ за счет адиабатического процесса расширения уменьшается до 5°. Масса ПГФ составляет 1,009 т.

Полагается, что аварийное реагирование на разрушение сепаратора происходит через 12 с, т.е. происходит переключение потоков на их сброс на факел, что приводит к существенному уменьшению межаппаратных перетоков. Поэтому дополнительно в зону разрыва поступят углеводороды из системы транспорта этилена и других аппара-

тов, связанных с сепаратором этилена. Поток из этих связанных с разрушенным аппаратов можно принять равным пятикратно номинальному (консервативная оценка). Возможное количество поступивших углеводородов составило 1542 кг. Таким образом, масса первичного облака составляет 1,009 т + 1,542 т = 2,551 т из 2,551 т углеводородов, вовлеченных в аварию.

Результаты расчета масс первичных облаков при катастрофическом разрушении аппаратов производства полиэтилена приведены в табл. 6-1.

Сценарии утечек из аварийных отверстий характеризуются максимальными расходами:

диаметр 100 мм — 35,6 кг/с;
диаметр 50 мм — 8,9 кг/с;
диаметр 25 мм — 2,2 кг/с;
диаметр 12,5 мм — 0,55 кг/с;
диаметр 5 мм — 0,089 кг/с.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2014

Приложение № 7

к Руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27 декабря 2013 г. № 646

Пример результатов расчета показателей риска для газоперерабатывающего предприятия

Для оценки риска аварий для людей, обслуживающих ОПО, использовались следующие характеристики:

частота аварии (λ_{Σ});

индивидуальный риск;

коллективный риск ($R_{кол}$);

социальный риск.

Распределение риска по составляющим объекта приведено в табл. 7-1.

Расчеты выполнены с помощью программного комплекса ТОКСИ$^{+Risk}$.

Таблица 7-1

Распределение риска по опасным составляющим ОПО

Вид последствий	Параметр аварии	Опасная составляющая комплекса				
		2000 УП	3000 ПЭНД/ ПЭВП	4000 ПЭВП	5000 ПП	ОЗХ
Фп	λ_{Σ}, 1/год	$3{,}97\cdot10^{-4}$	$3{,}85\cdot10^{-5}$	$9{,}62\cdot10^{-5}$	$3{,}21\cdot10^{-5}$	$1{,}07\cdot10^{-4}$
	$R_{кол}$, чел./год	$2{,}05\cdot10^{-4}$	$5{,}27\cdot10^{-5}$	$1{,}20\cdot10^{-4}$	$2{,}28\cdot10^{-4}$	$5{,}28\cdot10^{-5}$
Пп	λ_{Σ}, 1/год	$5{,}43\cdot10^{-4}$	0	$1{,}78\cdot10^{-7}$	0	$2{,}93\cdot10^{-4}$
	$R_{кол}$, чел./год	$2{,}10\cdot10^{-7}$	0	$2{,}80\cdot10^{-8}$	0	$5{,}90\cdot10^{-7}$
Оп	λ_{Σ}, 1/год	$1{,}07\cdot10^{-6}$	0	0	0	$5{,}70\cdot10^{-6}$
	$R_{кол}$, чел./год	$4{,}50\cdot10^{-6}$	0	0	0	$2{,}54\cdot10^{-4}$
Ввпо	λ_{Σ}, 1/год	$5{,}46\cdot10^{-4}$	$2{,}43\cdot10^{-5}$	$8{,}87\cdot10^{-5}$	$1{,}18\cdot10^{-4}$	$4{,}19\cdot10^{-4}$
	$R_{кол}$, чел./год	$2{,}45\cdot10^{-4}$	$2{,}07\cdot10^{-5}$	$7{,}24\cdot10^{-5}$	$8{,}89\cdot10^{-4}$	$1{,}48\cdot10^{-4}$
$R_{кол}$, составляющий		$4{,}55\cdot10^{-4}$	$7{,}34\cdot10^{-5}$	$1{,}92\cdot10^{-4}$	1,12E-03	$4{,}56\cdot10^{-4}$
Вклад в риск, %		19,83	3,20	8,39	48,71	19,87
Наиболее опасное оборудование		21-C-5510A/B	31/32-R-4000	41/42-V-5001	51-R-2002	T-001A/Д

Примечание. Ввпо — взрывы облаков ТВС; Оп — огненные шары, Пп — площадные пожары; Фп — факельные пожары.

Частота аварии с гибелью не менее 1 человека — $2{,}5\cdot10^{-3}$ 1/год.

При этом на различные опасные составляющие приходится:

установка по производству полипропилена — 45 %;

установка пиролиза — 24 %;

объекты общезаводского хозяйства и инфраструктуры — 20 %;

установка по производству — 7 %;

установка по производству ЛПЭНП и ПЭВП — 4 %.

Частота аварии с гибелью не менее 1 человека — $2{,}5\cdot10^{-3}$ 1/год.

Уровень индивидуального риска персонала с учетом режима работы составляет $1{,}18 \cdot 10^{-3}$ 1/год.

Распределение риска по видам опасности приведено в табл. 7-2.

Таблица 7-2

Распределение риска от видов опасности по объекту

Вид опасности	Риск от данного вида опасности, чел./год	Доля вклада в риск, %
Взрывы облаков ТВС (Ввпо)	$1{,}53 \cdot 10^{-3}$	64,65
Объемные пожары — огненные шары (Оп)	$2{,}54 \cdot 10^{-4}$	10,73
Площадные пожары (Пп)	$7{,}47 \cdot 10^{-7}$	0,03
Факельные пожары (Фп)	$5{,}82 \cdot 10^{-4}$	24,59

Масштаб поражения персонала в зависимости от вероятностей аварий определяется функцией распределения (F/N-диаграмма) от различных аварий на объекте, которая представлена ниже для различных вариантов аварийных ситуаций (рис. 7-1). Поле потенциального риска разрушения зданий представлено на рис. 7-2.

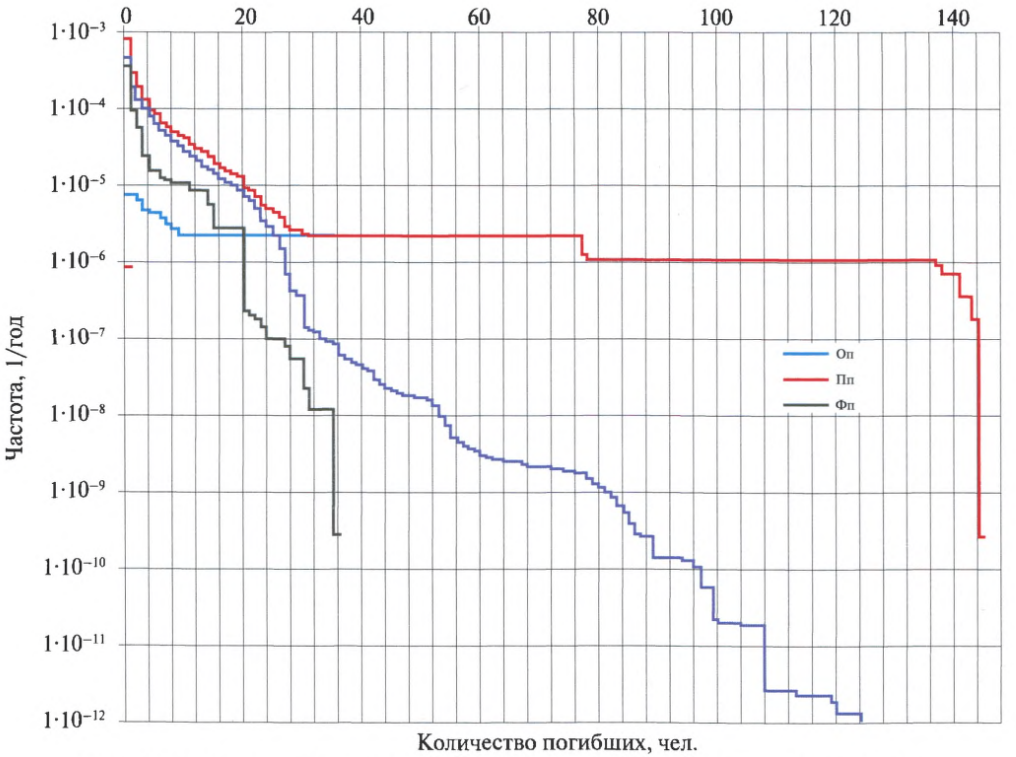

Рис. 7-1. F/N-диаграмма риска гибели людей от различных аварий на объекте

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2014

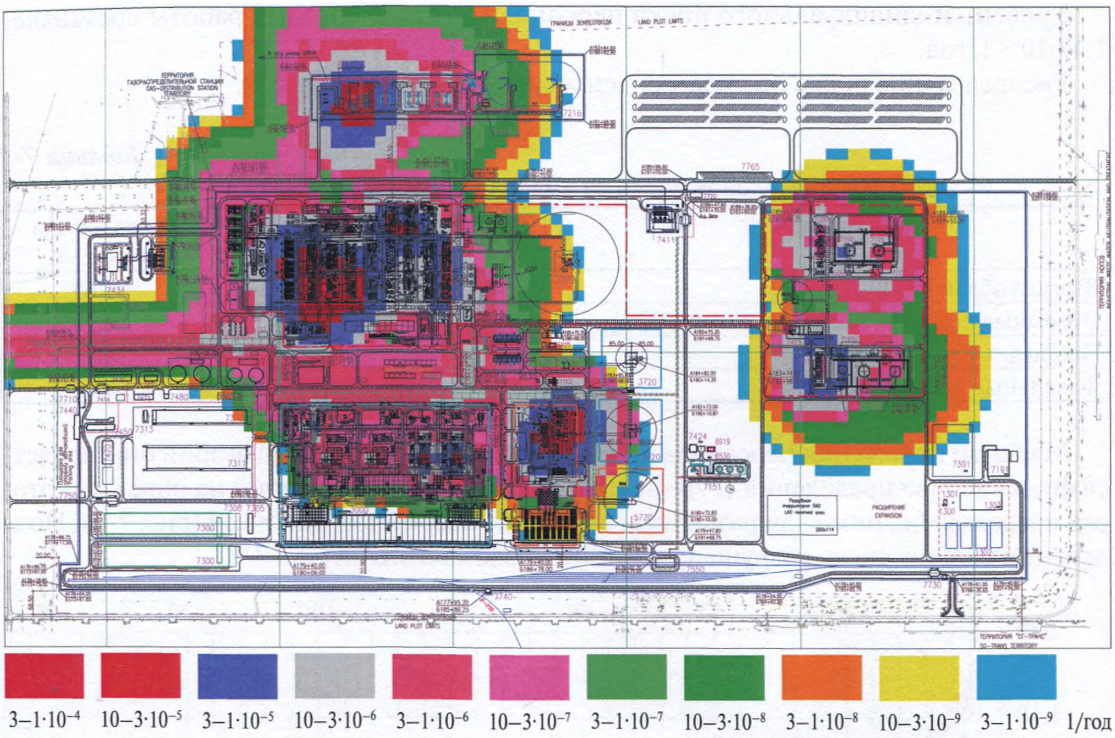

Рис. 7-2. Территориальное распределение превышения избыточного давления во фронте УВ (120 кПа) для сценариев Ввпо на объекте

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

Подписано в печать 25.02.2014. Формат 60×84 1/8.
Гарнитура Times. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Объем 5,5 печ. л.
Заказ № 189.
Тираж 60 экз.

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

gost.e-ecolog.ru