

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ГАЗПРОМ»

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ
АНАЛИЗА РИСКА ДЛЯ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ОБЪЕКТОВ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ ОАО «ГАЗПРОМ»**

СТО Газпром 2-2.3-351-2009

Издание официальное

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ГАЗПРОМ»

**Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт
природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ»**

Общество с ограниченной ответственностью «Газпром экспо»

Москва 2009

Предисловие

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1 РАЗРАБОТАН | Обществом с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ» |
| 2 ВНЕСЕН | Управлением проектирования и нормирования Департамента инвестиций и строительства ОАО «Газпром» |
| 3 УТВЕРЖДЕН
И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ | распоряжением ОАО «Газпром» от 30 марта 2009 г. № 83 |
| 4 ВЗАМЕН | СТО РД Газпром 39-1.10-084-2003 «Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром» |

© ОАО «Газпром», 2009

© Разработка ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 2009

© Оформление ООО «Газпром экспо», 2009

Распространение настоящего стандарта осуществляется в соответствии с действующим законодательством и с соблюдением правил, установленных ОАО «Газпром»

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	2
3 Термины, определения, обозначения и сокращения	3
4 Общие положения	12
4.1 Назначение анализа риска. Цели и задачи анализа риска на различных этапах жизненного цикла опасного производственного объекта	12
4.2 Структура показателей безопасности и риска	15
4.3 Основные этапы анализа риска	19
5 Анализ риска линейной части магистральных газопроводов	25
5.1 Блок-схема анализа риска линейной части магистральных газопроводов	25
5.2 Планирование и организация работ	26
5.3 Идентификация опасностей на магистральных газопроводах	30
5.4 Оценка ожидаемых частот возникновения аварий на магистральных газопроводах	35
5.5 Определение расчетных сценариев аварий на магистральных газопроводах	36
5.6 Оценка условных вероятностей реализации расчетных сценариев аварий на магистральных газопроводах	43
5.7 Расчет интенсивности, общих количеств и продолжительности выбросов природного газа при разрывах магистральных газопроводов	47
5.8 Расчет распространения поражающих факторов аварий на магистральных газопроводах	50
5.9 Расчет количества пострадавших среди населения и персонала от аварий на магистральных газопроводах	61
5.10 Расчет количеств уничтоженного и поврежденного имущества и компонентов природной среды от аварий на магистральных газопроводах	72
5.11 Расчет ущерба от аварий на магистральных газопроводах	84
5.12 Расчет потенциального, индивидуального, коллективного и социального рисков от аварий на магистральных газопроводах	88
5.13 Расчет ожидаемого годового ущерба с учетом частот возникновения аварий на магистральных газопроводах	99
5.14 Определение наиболее опасных составляющих магистральных газопроводов. Сравнение показателей риска с уровнями приемлемого риска	102

6 Анализ риска линейной части магистральных конденсатопродуктопроводов	106
6.1 Блок-схема анализа риска линейной части магистральных конденсатопродуктопроводов	106
6.2 Планирование и организация работ	106
6.3 Идентификация опасностей на магистральных конденсатопродуктопроводах	108
6.4 Оценка ожидаемых частот возникновения аварий на магистральных конденсатопродуктопроводах	112
6.5 Определение расчетных сценариев аварий на магистральных конденсатопродуктопроводах	113
6.6 Оценка условных вероятностей реализации расчетных сценариев аварий на магистральных конденсатопродуктопроводах	116
6.7 Расчет интенсивности, общих количеств и продолжительности выбросов газового конденсата при авариях на магистральных конденсатопродуктопроводах	123
6.8 Расчет распространения поражающих факторов аварий на магистральных конденсатопродуктопроводах	127
6.9 Расчет количества пострадавших среди населения и персонала от аварий на магистральных конденсатопродуктопроводах	132
6.10 Расчет количеств уничтоженного и поврежденного имущества и компонентов природной среды от аварий на магистральных конденсатопродуктопроводах	133
6.11 Расчет ущерба от аварий на магистральных конденсатопродуктопроводах	136
6.12 Расчет потенциального, индивидуального, коллективного и социального рисков от аварий на магистральных конденсатопродуктопроводах	138
6.13 Расчет ожидаемого годового ущерба с учетом частот возникновения аварий на магистральных конденсатопродуктопроводах	138
6.14 Определение наиболее опасных составляющих магистральных конденсатопродуктопроводов. Сравнение показателей риска с уровнями приемлемого риска	139
7 Анализ риска для площадочных объектов	139
7.1 Блок-схема анализа риска для площадочных объектов	139
7.2 Планирование и организация работ	141
7.3 Идентификация опасностей на площадочных объектах	144

7.4	Оценка ожидаемых частот возникновения аварий на площадочных объектах	150
7.5	Определение расчетных сценариев аварий на площадочных объектах	153
7.6	Оценка условных вероятностей реализации расчетных сценариев аварий на площадочных объектах	167
7.7	Расчет интенсивности, общих количеств и продолжительности выбросов опасных веществ при авариях на площадочных объектах	169
7.8	Расчет распространения поражающих факторов аварий на площадочных объектах	171
7.9	Расчет количества пострадавших среди населения и персонала от аварий на площадочных объектах	173
7.10	Расчет количеств уничтоженного и поврежденного имущества и компонентов природной среды от аварий на площадочных объектах	173
7.11	Расчет ущерба от аварий на площадочных объектах	175
7.12	Расчет потенциального, индивидуального, коллективного и социального рисков от аварий на площадочных объектах	179
7.13	Расчет ожидаемого годового ущерба с учетом частот возникновения аварий на площадочных объектах	185
7.14	Определение наиболее опасных составляющих площадочных объектов. Сравнение показателей риска с уровнями приемлемого риска	187
8	Особенности применения стандарта для анализа риска скважин и трубопроводов системы сбора газа подземных хранилищ газа	190
9	Рекомендации по использованию результатов анализа риска при страховании опасного производственного объекта	190
	Приложение А (справочное) Характеристики опасных веществ, обращающихся на опасных производственных объектах транспорта и хранения газа и газового конденсата	193
	Приложение Б (рекомендуемое) Порядок расчета количеств опасных веществ на некоторых составляющих опасных производственных объектов транспорта и хранения газа и газового конденсата	207
	Приложение В (рекомендуемое) Обобщенное дерево отказов для подземного магистрального газопровода	209
	Приложение Г (рекомендуемое) Методики расчета интенсивности истечения и количества выбрасываемого газа при разрушениях газопроводов	214

Приложение Д (рекомендуемое) Методики расчета интенсивности истечения и количества выбрасываемого продукта при разгерметизации конденсатопродуктопроводов	234
Приложение Е (рекомендуемое) Методики расчета пространственно-временного распределения выбрасываемых продуктов с учетом их физико-химической трансформации	277
Приложение Ж (рекомендуемое) Методики расчета физических параметров и масштабов распространения поражающих факторов аварий	293
Приложение И (рекомендуемое) Критерии поражающего воздействия различных поражающих факторов аварии на человека, имущество, компоненты природной среды	340
Приложение К (рекомендуемое) Методика оценки ущерба от аварий на опасных производственных объектах ОАО «Газпром»	351
Приложение Л (рекомендуемое) Идентификация опасностей на подземном резервуаре хранилища природного газа в отложениях каменной соли	365
Библиография	373

Введение

Настоящий стандарт регламентирует выполнение процедуры количественного анализа техногенного риска эксплуатации опасных производственных объектов транспорта газа и газового конденсата и подземных хранилищ газа ОАО «Газпром». Стандарт разработан во исполнение требований Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ в рамках реализации следующих директив ОАО «Газпром»:

- Программы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ ОАО «Газпром» на 2004 г., утвержденной Председателем Правления ОАО «Газпром» А.Б. Миллером 13.09.2004 г. № 01-69;

- Перечня приоритетных научно-технических проблем ОАО «Газпром» на 2006–2010 гг., утвержденного Председателем Правления ОАО «Газпром» А.Б. Миллером (от 11.10.2005 г. № 01-106), п. 6.1 «Разработка технологий, технических средств и организационных мероприятий, направленных на повышение экологической, промышленной, информационной и антитеррористической безопасности производственного комплекса Общества».

Стандарт разработан с учетом результатов практического использования применяемого до введения в действие настоящего документа стандарта СТО РД Газпром 39-1.10-084-2003 «Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром»» на объектах эксплуатирующих организаций ОАО «Газпром», а также требований федеральных надзорных и контрольных органов в области промышленной безопасности.

Настоящий стандарт разработан в целях:

- повышения уровня безопасности жизни и здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества и экологической безопасности;

- повышения уровня промышленной безопасности опасных производственных объектов транспорта газа и газового конденсата и подземных хранилищ газа ОАО «Газпром»;

- рационального использования ресурсов, направляемых на обеспечение промышленной безопасности указанных опасных производственных объектов ОАО «Газпром»;

- обеспечения сопоставимости процедур и результатов исследований в области анализа и оценки риска, обусловленного возможными авариями на опасных производственных объектах газовой отрасли.

В настоящем стандарте в полной мере учитывается как специфика эксплуатации технологических объектов транспорта и хранения сжатого газа, а также транспорта газового конденсата, так и физические особенности протекания аварийных процессов на этих объектах.

СТО Газпром 2-2.3-351-2009

Стандарт содержит подробное описание последовательных этапов количественного анализа риска применительно к технологическим объектам транспорта газа и газового конденсата и подземных хранилищ газа ОАО «Газпром» в объеме требований, предъявляемых к содержанию деклараций промышленной безопасности руководящими документами Ростехнадзора (РД 03-14-2005, РД 03-357-00, РД 03-418-01).

В документе рассматриваются вопросы:

- оценки ожидаемых частот возникновения аварий;
- построения сценариев развития аварий и оценки масштабов распространения поражающих факторов аварий;
- оценки негативного воздействия поражающих факторов аварий на человека, технологическое оборудование, здания, сооружения и другие материальные объекты, а также на компоненты окружающей природной среды;
- оценки показателей риска для людей, в том числе потенциального, индивидуального, коллективного и социального рисков;
- оценки ожидаемого материального ущерба от аварий.

Стандарт разработан на основании договора от 17 апреля 2006 г. № 0559-04-16.

Стандарт разработан коллективом авторов из ООО «Газпром ВНИИГАЗ»: ответственные исполнители: В.С. Сафонов (д.т.н.), С.В. Овчаров (к.т.н.), С.А. Ковалев (к.т.н.); исполнители: С.В. Овчаров (к.т.н.), С.А. Ковалев (к.т.н.), С.В. Ганага (к.т.н.), А.В. Мельников, Е.Н. Желтиков, А.А. Петрулевич (к.т.н.), М.А. Киркин, Т.В. Елаева.

В разработке стандарта также принимали участие: В.Д. Шапиро (к.т.н.), А.М. Почечуев (ООО «Газпром газнадзор»); И.А. Швыряев, Д.А. Орехова (МГУ им. М.В. Ломоносова); М.К. Теплов, В.И. Федчук (ООО «Подземгазпром»); С.И. Сумской (ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность»).

**СТАНДАРТ ОТКРЫТОГО АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА
«ГАЗПРОМ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ АНАЛИЗА РИСКА
ДЛЯ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ ОАО «ГАЗПРОМ»**

Дата введения – 2009-12-30

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт распространяется на опасные производственные объекты ОАО «Газпром», в том числе линейную часть магистральных газопроводов (включая газопроводы-отводы), переходы через протяженные водные преграды (подводные газопроводы), компрессорные станции, газораспределительные станции, линейную часть и насосные станции магистральных конденсатопродуктопроводов (транспортирующих газовый конденсат, не содержащий токсические примеси), подземные хранилища природного газа в пористых структурах и отложениях каменной соли.

1.2 Настоящий стандарт устанавливает методические подходы, термины и определения, а также процедуру и требования к оформлению результатов количественного анализа техногенного риска, обусловленного авариями и инцидентами на опасных производственных объектах транспорта газа и газового конденсата и подземных хранилищ газа, предназначенные к использованию при разработке деклараций промышленной безопасности¹, паспортов безопасности², разделов по анализу риска, промышленной безопасности и инженерно-техническим мероприятиям по гражданской обороне и чрезвычайным ситуациям в составе проектной документации на строительство, расширение, реконструкцию, техническое перевооружение, консервацию и ликвидацию указанных опасных производственных объектов газотранспортных дочерних обществ.

¹ Обязательность разработки декларации промышленной безопасности устанавливается в соответствии с пунктами 2 и 3 ст.14 Федерального закона № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [1].

² Разработка паспорта безопасности осуществляется в соответствии с приказом МЧС России от 04.11.2004 г. № 506 «Об утверждении типового паспорта безопасности опасного объекта».

1.3 Положения настоящего стандарта обязательны для структурных подразделений ОАО «Газпром», в части, их касающейся, а также для эксплуатирующих организаций ОАО «Газпром», проектных и научно-исследовательских дочерних обществ и организаций ОАО «Газпром», экспертных и других организаций ОАО «Газпром», принимающих решения по разработке, участвующих в разработке или выполнении для опасных производственных объектов, указанных в 1.1:

- деклараций промышленной безопасности³;
- паспортов безопасности⁴;
- экспертиз промышленной безопасности деклараций промышленной безопасности⁵, и экспертиз документации в части анализа риска;
- целевых программ по снижению аварийности;
- целевых программ по снижению внеплановых потерь (возможных ущербов);
- разделов (по анализу риска, промышленной безопасности и инженерно-техническим мероприятиям по гражданской обороне, предупреждению, локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций) в составе проектной документации на строительство, расширение, реконструкцию, техническое перевооружение, консервацию и ликвидацию;
- обоснований страховых параметров при подготовке договоров обязательного страхования ответственности эксплуатирующих организаций ОАО «Газпром» за причинение вреда жизни, здоровью или имуществу других лиц и окружающей природной среде в случае аварий.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.0.002-80 Система стандартов безопасности труда. Термины и определения

ГОСТ 12.1.033-81 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Термины и определения

ГОСТ 26883-86 (СТ СЭВ 5127-85) Внешние воздействующие факторы. Термины и определения

ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения

ГОСТ Р 22.0.02-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий

³ Для разработки деклараций промышленной безопасности эксплуатирующие организации ОАО «Газпром» имеют право [2] привлекать корпоративные научные и экспертные организации, специализирующиеся на выполнении анализа риска в соответствии с настоящим СТО Газпром.

⁴ Сноска 3 верна также в отношении паспортов безопасности.

⁵ Обязательность проведения экспертизы промышленной безопасности деклараций промышленной безопасности установлена в ст.13 Федерального закона № 116-ФЗ [1].

ГОСТ 20911 Техническая диагностика. Термины и определения

ГОСТ 22.0.05-97 / ГОСТ Р 22.0.05-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Технологические чрезвычайные ситуации. Термины и определения

СТО Газпром 2-3.5-032-2005 Положение по организации и проведению контроля за соблюдением требований промышленной безопасности и обеспечением работоспособности объектов Единой системы газоснабжения ОАО «Газпром»

СТО Газпром 2-3.5-051-2006 Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов

СТО Газпром РД 2.5-141-2005 Газораспределение. Термины и определения

СТО Газпром (проект) Методика анализа риска для опасных производственных объектов газодобывающих предприятий ОАО «Газпром»

Примечание – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов по соответствующим указателям, составленным на 1 января текущего года, и информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) стандартом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения, обозначения и сокращения

3.1 В настоящем стандарте применены термины в соответствии с Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [1], ГОСТ 12.0.002, ГОСТ 12.1.033, ГОСТ Р 22.0.02, ГОСТ Р 22.0.05, ГОСТ 26883, ГОСТ 27.002, ГОСТ 20911, а также следующие термины с соответствующими определениями и сокращениями:

3.1.1 авария на опасном производственном объекте ОАО «Газпром»: Разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на действующих опасных производственных объектах ОАО «Газпром», неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ (природного газа, конденсата и т.д.), находящихся в технологических системах указанных объектов.

[ВРД 39-1.2-054-2002 [3], раздел «Термины и определения»]

3.1.2 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.

[РД 03-418-01 [4], пункт 2.2]

3.1.3 **взрыв:** Неконтролируемый быстропотекающий 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.

3.1.4 **«взрыв» сосуда под высоким давлением:** Быстропотекающее разрушение сосуда (технологического аппарата, баллона, резервуара, цистерны, трубопровода и т.д.), в котором в рабочем состоянии находятся сжатые под высоким давлением опасные вещества (природный газ, газожидкостные смеси и т.д.), а разрушение сосуда возникает в результате внешнего механического воздействия, нагрева или взрыва образовавшейся взрывоопасной парогазовой смеси внутри сосуда, коррозии, развития дефекта материала сосуда или сварного шва.

3.1.5 **газораспределительная станция; ГРС:** Совокупность технологического оборудования газопровода для снижения давления, очистки, одоризации и учета расхода газа перед подачей его в газораспределительную сеть.

[СТО Газпром РД 2.5-141-2005, пункт 3.1.14]

3.1.6 **газотранспортная система; ГТС:** Совокупность взаимосвязанных газопроводов и сопутствующих им сооружений, предназначенных для обеспечения газом потребителей.

3.1.7 **декларация промышленной безопасности опасного производственного объекта; ДПБ:** Документ, в котором представлены результаты всесторонней оценки риска аварии, анализа достаточности принятых мер по предупреждению аварий 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.

[РД 03-14-2005 [2], Приложение 1]

3.1.8 **декларируемый объект:** Опасный производственный объект, для которого разработка декларации промышленной безопасности является обязательной согласно федеральному законодательству или требованиям Ростехнадзора.

[РД 03-14-2005 [2], Приложение 1]

3.1.9 **заказчик:** Юридическое лицо, заказывающее работу, включающую в свой состав количественный анализ риска.

3.1.10 **зона негативного воздействия поражающего фактора:** Зона территориального (на уровне земли) распределения физической характеристики заданного поражающего фактора аварии вокруг места возникновения аварии, ограниченная изолинией заранее установленно-го порогового значения данной физической характеристики.

Примечание — например, зона теплового воздействия от вертикального колонного пламени может характеризоваться распределением на уровне земли вокруг центра основания пламени удельного потока тепловой радиации с внешней границей, соответствующей изолинии порогового значения теплового потока 1,5 кВт/м².

3.1.11 **зона потенциального поражения; ЗПП:** Зона территориального (на уровне земли) распределения условных вероятностей поражения человека заданным поражающим фактором аварии, ограниченная изолинией условной вероятности гибели человека, равной 0.01 (один процент).

3.1.12 **индивидуальный риск:** Частота поражения отдельного человека в результате воздействия исследуемых факторов опасности аварий.

[РД 03-418-01 [4], пункт 2.8]

3.1.13 **идентификация опасностей аварии:** Процесс выявления и признания, что опасности аварии на опасном производственном объекте существуют, и определения их характеристик.

[РД 03-418-01 [4], пункт 2.3]

3.1.14 **инцидент на опасном производственном объекте ОАО «Газпром»:** Механическое повреждение или проявление скрытого дефекта конструкции, отдельного элемента сооружений действующего опасного производственного объекта, отказ обслуживающих его систем (систем телемеханики, связи, энергоснабжения, электрохимической защиты или других), не повлиявшее на работоспособность объекта, но вызвавшее необходимость принятия нештатных действий, не предусмотренных планом технического обслуживания и ремонта, для восстановления его безопасного состояния.

[ВРД 39-1.2-054-2002 [3], раздел «Термины и определения»]

3.1.15 **коллективный риск:** Ожидаемое количество пораженных в результате возможных аварий за определенное время.

[РД 03-418-01 [4], пункт 2.8]

3.1.16 **количественный анализ риска, КолАР:** Анализ риска, включающий процедуры расчета одного или нескольких количественных составляющих и показателей риска из числа следующих:

- ожидаемая частота аварий;
- размеры зон воздействия поражающих факторов аварии;
- количество пострадавших и погибших;
- ущерб от аварии;
- ожидаемый годовой ущерб;

- потенциальный риск;
- коллективный риск;
- индивидуальный риск;
- социальный риск;
- технический риск.

3.1.17 **компрессорная станция; КС:** Комплекс сооружений магистрального газопровода, предназначенный для компримирования газа.

3.1.18 **линейная часть магистрального газопровода; ЛЧ МГ:** Совокупность участков магистрального газопровода, соединяющих компрессорные станции между собой либо с газораспределительными станциями, и сооружений, входящих в состав газопровода: отводов, лупингов, перемычек, запорной арматуры, переходов через естественные и искусственные препятствия, узлов редуцирования давления, узлов очистки полости газопроводов, устройств для ввода метанола, установок электрохимической защиты от коррозии, сооружений технологической связи, средств телемеханики, линий электроснабжения, противопожарных средств, противоэрозионных средств, сооружений линейно-эксплуатационной службы, вольтрассовых проездов, вертолетных площадок.

3.1.19 **линейная часть магистрального конденсатопродуктопровода; ЛЧ МКП:** Совокупность участков магистрального конденсатопродуктопровода, соединяющих насосные станции между собой либо с приемо-сдаточными станциями, и сооружений, входящих в состав конденсатопродуктопровода: запорной арматуры, переходов через естественные и искусственные препятствия, узлов очистки полости трубопроводов, установок электрохимической защиты от коррозии, средств телемеханики, противоэрозионных средств, сооружений линейно-эксплуатационной службы, вольтрассовых проездов, вертолетных площадок.

3.1.20 **магистральный газопровод; МГ:** Магистральный трубопровод, предназначенный для транспортировки природного газа.

3.1.21 **магистральный конденсатопродуктопровод; МКП:** Магистральный трубопровод, предназначенный для транспортировки стабильного или нестабильного газового конденсата, этана, широкой фракции легких углеводородов.

3.1.22 **магистральный трубопровод:** Технологически неделимый, централизованно управляемый имущественный производственный комплекс, состоящий из взаимосвязанных объектов и сооружений, являющихся его неотъемлемой технологической частью, предназначенных для транспортировки подготовленной в соответствии с требованиями национальных стандартов продукции от объектов добычи и (или) пунктов приема до пунктов сдачи потребителям и передачи в распределительные трубопроводы или иной вид транспорта и (или) хранения.

3.1.23 **максимальная гипотетическая авария; МГА:** Авария, связанная с выбросом максимально возможных количеств опасных веществ из технологического оборудования (блока), сопровождающаяся отказом штатных систем противоаварийной защиты и/или реализацией ошибочных действий персонала, сочетанием наиболее неблагоприятных природных условий, способствующих распространению поражающих факторов аварии, и приводящая, как следствие, к максимально возможному ущербу.

3.1.24 **насосная станция конденсатопродуктопровода; НС:** Комплекс сооружений магистрального конденсатопродуктопровода, осуществляющий повышение давления в МКП с помощью магистральных насосных агрегатов.

3.1.25 **неконтролируемый выброс:** Непредусмотренный технологическим процессом (регламентом, проектом и т.д.) единовременный выход опасного газообразного вещества, опасной жидкости или их смеси (природного газа, газового конденсата и т.д.) в атмосферу или помещение производственного объекта из технологической системы.

3.1.26 **ожидаемая частота аварий f , аварий/год:** Прогнозируемое количество аварий на опасном производственном объекте за один календарный год его эксплуатации.

3.1.27 **ожидаемая удельная частота аварий на участке магистрального трубопровода λ_n , аварий/(тыс. км · год):** Прогнозируемое количество аварий на единице длины (1000 км) магистрального трубопровода за один календарный год его эксплуатации.

3.1.28 **ожидаемый годовой ущерб от аварий u , руб./год:** Математическое ожидание ущерба от возможных аварий на опасном производственном объекте за один календарный год его эксплуатации.

3.1.29 **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.

[РД 03-418-01 [4], пункт 2.4]

3.1.30 **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.

[РД 03-418-01 [4], пункт 2.6]

3.1.31 **поле потенциального риска:** Пространственное распределение значений потенциального риска, рассчитанных в каждой точке (узле) выбранной расчетной сетки на рассматриваемой территории, изображаемое, как правило, совокупностью изолиний потенциального риска.

3.1.32 **подземное хранилище газа; ПХГ:** Сооружение на основе подземной емкости, предназначенное для закачки, хранения и последующего отбора газа, имеющее подключение к магистральному газопроводу.

[СТО Газпром РД 2.5-141-2005, пункт 3.5.19]

3.1.33 **последствия аварии:** Явления, процессы, события и состояния, обусловленные возникновением аварии на опасном производственном объекте (травмирование людей, нанесение ущерба владельцу, третьим лицам или окружающей среде).

3.1.34 **потенциальный территориальный риск (или потенциальный риск):** Частота реализации поражающих факторов аварий в рассматриваемой точке территории.

[РД 03-418-01 [4], пункт 2.8]

3.1.35 **приемлемый (предельно допустимый) риск:** Риск, уровень которого допустим и обоснован, исходя из экономических и социальных соображений.

3.1.36 **разрушение:** Событие, заключающееся в деформировании, изменении геометрических размеров конструкций или отдельных элементов технологической системы (с возможным разделением их на части) в результате силовых, термических или иных воздействий, сопровождающееся нарушением работоспособности объекта.

3.1.37 **реципиент:** Объект негативного воздействия поражающих факторов аварии. Реципиентами могут быть люди, компоненты природной среды и материальные ценности.

3.1.38 **риск (техногенный риск):** Мера опасности, характеризующая возможность (ожидаемую частоту) возникновения аварий и тяжесть их последствий.

Примечание – В зависимости от целей анализа риск может оцениваться как в качественных, так и в количественных показателях. Основными количественными показателями техногенного риска для людей являются: потенциальный риск, индивидуальный риск, коллективный риск, социальный риск.

3.1.39 составляющие опасного производственного объекта: Участки, установки, цеха, хранилища или другие составляющие (составные части), объединяющие технические устройства или их совокупность по технологическому и/или административному принципу и входящие в состав опасного производственного объекта.

[РД 03-14-2005 [2], Приложение 1]

3.1.40 социальный риск (F/N -кривая): Зависимость частоты F возникновения событий, в которых пострадает с определенной степенью тяжести не менее N человек, от этого числа N . Характеризует тяжесть последствий (катастрофичность) реализации опасностей.

3.1.41 специалист: Работник, имеющий высшее специальное образование и участвующий в выполнении работ по анализу риска.

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

[РД 03-14-2005 [2], Приложение 1]

3.1.43 сценарий наиболее вероятной аварии (наиболее вероятный сценарий аварии): Сценарий аварии, вероятность реализации которого максимальна за определенный период времени.

[РД 03-14-2005 [2], Приложение 1]

3.1.44 сценарий наиболее опасной по последствиям аварии (наиболее опасный по последствиям сценарий аварии): Сценарий аварии с наибольшим ущербом людским и материальным ресурсам или компонентам природной среды.

[РД 03-14-2005 [2], Приложение 1]

3.1.45 техническое состояние объекта: Состояние объекта, которое характеризуется в определенный момент времени при определенных условиях внешней среды значениями параметров, установленных нормативно-технической документацией.

3.1.46 условная вероятность поражения людей $P_{гиб}$: Вероятность гибели человека при условии нахождения его под воздействием заданного поражающего фактора аварии.

3.1.47 утечка на объекте магистрального трубопроводного транспорта газов: Неконтролируемый выход транспортируемого газа в атмосферу или помещение компрессорной станции, газораспределительной станции или автомобильной газонаполнительной компрессорной станции без признаков аварии, но требующий проведения ремонтных работ для обеспечения безопасности дальнейшей эксплуатации объекта.

[РД 08-204-98 [5], раздел 2]

3.1.48 ущерб от аварии: Потери (убытки) в производственной и непроизводственной сфере жизнедеятельности человека, вред окружающей природной среде, причиненные в результате аварии на опасном производственном объекте и исчисляемые в денежном эквиваленте.

{РД 03-418-01 [4], пункт 2.10}

3.1.49 чрезвычайная ситуация: Обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

{Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»[6], статья 1}

3.1.50 экспертная организация: Дочернее общество или организация ОАО «Газпром», имеющее соответствующую лицензию на проведение экспертизы промышленной безопасности.

3.1.51 эксплуатирующая организация: Дочернее общество или организация ОАО «Газпром», осуществляющее эксплуатацию на праве собственности или ином законном основании опасного(ых) производственного(ых) объекта(ов) ОАО «Газпром».

3.2 Обозначения и сокращения:

ААЗК – автомат аварийного закрытия крана;

АВО – аппарат воздушного охлаждения;

АГНКС – автомобильная газонаполнительная компрессорная станция;

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

ВВС – воздушная волна сжатия;

ВТД – внутритрубная диагностика;

ГВС – газовоздушная смесь;

ГНВ – газопровод надземный внутренний (шифр одного из типов ОСПО – см. 7.5.2);

ГНН – газопровод надземный наружный (шифр одного из типов ОСПО – см. 7.5.2);

ГП – газопровод подземный (шифр одного из типов ОСПО – см. 7.5.2)

ГПА – газоперекачивающий агрегат;

ГРП – газораспределительный пункт;

ГСМ – горюче-смазочные материалы;

ГСП – газосборный пункт;

ГТО – газотранспортное дочернее общество;

- ГШУ – главный щит управления;
- ДО – дочернее общество;
- ДПБ – декларация промышленной безопасности;
- ДТП – дорожно-транспортное происшествие;
- ЕСГ – Единая система газоснабжения;
- ЖН – жидкость нестабильная (шифр одного из типов ОСПО – см. 7.5.2);
- ЖС – жидкость стабильная (шифр одного из типов ОСПО – см. 7.5.2);
- ИТМ ГОЧС – инженерно-технические мероприятия по гражданской обороне, предупреждению, локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- КИК – контрольно-измерительная колонка;
- КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика;
- КПТМ – контрольный пункт телемеханики;
- КРН – коррозионное растрескивание под напряжением;
- КЦ – компрессорный цех;
- ЛПУМГ – линейное производственное управление магистральных газопроводов;
- ЛЭС – линейно-эксплуатационная служба;
- ЛЭП – линия электропередач;
- ММГ – многолетнемерзлые грунты;
- МЭОЧАГаз – Методика экспертной оценки ожидаемой частоты аварий на участке газопровода;
- НД – нормативный документ;
- НДС – напряженно-деформированное состояние;
- НКПВ – нижний концентрационный предел воспламенения;
- НС – насосная станция;
- ОИ – обоснование инвестиций (как стадия проектирования и соответствующая проектная документация);
- ОПО – опасный производственный объект;
- ОС – опасная составляющая;
- ОСПО – опасная составляющая площадочного объекта;
- ПЛА – план по локализации и ликвидации аварии;
- ПОУ – потенциально опасный участок;
- ПТЭ – правила технической эксплуатации;
- ПТБ – правила техники безопасности;
- ПУ – пылеуловитель;

СТО Газпром 2-2.3-351-2009

ПХГ – подземное хранилище газа;

ПЭБ – производственно-энергетический блок;

Ростехнадзор – Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору;

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

СМР – строительные-монтажные работы;

СУГ – сжиженный углеводородный газ;

СУПБ – система управления промышленной безопасностью;

ТДА – турбодетандерный агрегат;

ТЗ – техническое задание;

ТМЦ – товарно-материальные ценности;

УОГ – установка очистки газа;

УПТГ – установка подготовки топливного и пускового газа;

ШФЛУ – широкая фракция легких углеводородов;

ЭХЗ – электрохимическая защита.

4 Общие положения

4.1 Назначение анализа риска. Цели и задачи анализа риска на различных этапах жизненного цикла опасного производственного объекта

4.1.1 Анализ техногенного риска (риска аварий) на ОПО ДО ОАО «Газпром» является необходимым элементом управления промышленной безопасностью в ДО и представляет собой циклическую процедуру, включающую систематизацию всей доступной информации о состоянии ОПО и его окружения с точки зрения промышленной безопасности, идентификацию опасностей, оценку риска аварий, анализ полученных показателей риска, разработку рекомендаций по снижению риска и проверку эффективности этих рекомендаций в следующем цикле анализа ОПО.

4.1.2 Основное назначение анализа техногенного риска на ОПО ДО ОАО «Газпром» заключается в предоставлении лицам, принимающим решения:

- объективной информации о состоянии промышленной безопасности ОПО;
- сведений о наиболее опасных составляющих ОПО;
- сведений о возможном количестве пострадавших, объемах материального ущерба производству, третьим лицам и окружающей природной среде от возможных аварий на ОПО и ожидаемой частоте (вероятности) реализации аварий и их нежелательных последствий;
- обоснованных рекомендаций по уменьшению риска;

- обоснованных рекомендаций по распределению материальных и финансовых ресурсов, направляемых на повышение уровня безопасности ОПО.

4.1.3 Цели и задачи анализа техногенного риска на разных этапах жизненного цикла ОПО различаются и должны быть конкретизированы для каждого этапа.

4.1.4 На этапе обоснования инвестиций (ОИ) (когда решаются задачи оценки целесообразности реализации проекта, поиска приемлемого варианта размещения ОПО и его основных составляющих, оценки предлагаемых вариантов принципиальных решений, сравнительной оценки экономической эффективности, оценки побочных социальных и экологических последствий) целями анализа риска, как правило, являются:

- выявление опасностей и предварительная оценка риска (причем при соответствующем обосновании достаточна только оценка последствий от наиболее критичных аварий) для различных вариантов размещения объекта на местности и альтернативных технических решений с учетом возможного воздействия поражающих факторов аварий на персонал, население и окружающую природную среду, анализ приемлемости предложенных принципиальных технических решений и выбор оптимального размещения ОПО в целом в окружении иных производственных, социальных и природных объектов по критерию «риск-выгода»;

- оценка финансового, инвестиционного риска, обусловленного потерями дорогостоящего оборудования и продукции в результате возможных аварий;

- определение (выделение) рисков, требующих дальнейшего, более глубокого исследования (при этом рекомендуется ограничиться расчетом только последствий аварий, результаты которого могут, например, представлять собой верхнюю и нижнюю границы зон негативного воздействия);

- обеспечение информацией для разработки декларации промышленной безопасности в составе ОИ;

- обеспечение информацией для разработки раздела ИТМ ГОЧС в составе ОИ;

- проверка правильности разработки подразделов по анализу риска в декларациях и разделах ИТМ ГОЧС в составе ОИ при проведении экспертиз промышленной безопасности.

4.1.5 На этапе разработки проектной документации на строительство и расширение ОПО целями анализа риска являются:

- выявление опасностей и предварительная количественная оценка риска для проектируемого ОПО с установленными в целом технико-экономическими характеристиками ОПО с учетом воздействия поражающих факторов аварий на персонал, население и окружающую природную среду для выбора оптимального варианта размещения технических устройств, зданий и сооружений ОПО по критерию безопасности для персонала, населения и окружающей природной среды;

СТО Газпром 2-2.3-351-2009

- обеспечение информацией для разработки инструкций, технологических регламентов и ПЛА⁶ на проектируемом ОПО;

- обеспечение разработчиков проекта информацией для оптимального выбора и размещения систем противоаварийной и противопожарной защиты, блокировок, сигнализаций и т.п. на ОПО;

- обеспечение информацией в соответствии с Порядком [2] для разработки декларации промышленной безопасности в составе проектной документации;

- обеспечение информацией в соответствии с Порядком [7] для разработки раздела ИТМ ГОЧС в составе проектной документации;

- проверка правильности разработки подразделов по анализу риска в декларациях и разделах ИТМ ГОЧС в составе проектной документации при проведении экспертиз промышленной безопасности.

4.1.6 На этапе ввода в эксплуатацию (вывода из эксплуатации) ОПО целями анализа риска являются:

- выявление опасностей и оценка последствий аварий, уточнение оценок риска, полученных на предыдущих этапах жизненного цикла ОПО;

- проверка соответствия условий эксплуатации требованиям промышленной безопасности;

- разработка и уточнение инструкций по вводу в эксплуатацию (выводу из эксплуатации).

4.1.7 На этапе эксплуатации ОПО целями анализа риска являются:

- проверка соответствия условий эксплуатации требованиям промышленной безопасности;

- получение новой или уточнение существующей информации об основных опасностях и рисках на ОПО для персонала, населения и окружающей природной среды, в том числе при декларировании промышленной безопасности;

- получение новой или уточнение существующей информации об основных опасностях и рисках на ОПО для населения (прежде всего) и для персонала при разработке паспортов безопасности;

- расстановка приоритетов при направлении имеющихся в эксплуатирующей организации ограниченных ресурсов на техническое обслуживание и обновление оборудования с целью оптимального распределения средств по составляющим ОПО в соответствии с уровнем рассчитанного для них риска⁷;

⁶При разработке ПЛА должны использоваться готовые результаты анализа риска из декларации промышленной безопасности ОПО в части сценариев аварий и размеров зон поражения.

⁷ При этом следует использовать готовые результаты анализа риска из декларации промышленной безопасности.

- разработка рекомендаций и мероприятий по снижению риска;
- совершенствование инструкций по эксплуатации и техническому обслуживанию, уточнение ПЛА⁸ ОПО;

- оценка степени снижения риска в результате внесенных изменений в организационные структуры ОПО, приемы практической работы и технического обслуживания ОПО при совершенствовании системы управления промышленной безопасностью.

4.1.8 При реконструкции и техническом перевооружении ОПО целями анализа риска являются:

- обеспечение информацией для разработки декларации промышленной безопасности в составе проектной документации на реконструкцию, техническое перевооружение:

- обеспечение информацией для разработки раздела ИТМ ГОЧС в составе проектной документации на реконструкцию, техническое перевооружение:

- выбор оптимальных (с учетом показателей риска) технических решений и размещения реконструируемых (перевооружаемых) составляющих ОПО:

- уточнение информации об опасностях и рисках на ОПО с учетом технико-технологических изменений объекта, связанных с реконструкцией (перевооружением) отдельных составляющих ОПО (в том числе при декларировании промышленной безопасности);

- уточнение инструкций по эксплуатации и техническому обслуживанию, ПЛА⁹.

4.1.9 При капитальном ремонте на ОПО целями анализа риска являются:

- обеспечение информацией для разработки декларации промышленной безопасности;

- выявление специфических опасностей ремонтных работ;

- уточнение информации об опасностях и рисках на ОПО с учетом изменений в результате капитального ремонта технико-технологических характеристик и технического состояния ОПО;

- уточнение технологических регламентов и инструкций, связанных с капитальным ремонтом.

4.2 Структура показателей безопасности и риска

4.2.1 Основными количественными составляющими риска являются:

- ожидаемая частота аварий;

- размеры зон негативного воздействия поражающих факторов аварий;

⁸ При уточнении ПЛА должны использоваться готовые результаты анализа риска из декларации промышленной безопасности ОПО в части сценариев аварий и размеров зон поражения.

⁹ При уточнении ПЛА должны использоваться готовые результаты анализа риска из декларации промышленной безопасности ОПО в части сценариев аварий и размеров зон поражения.

- количество пострадавших, в том числе погибших и раненых (при реализации конкретного сценария аварии);

- условная вероятность поражения людей (при реализации конкретного сценария аварии);

- ущерб от аварии (при реализации конкретного сценария аварии).

Основными количественными показателями риска являются:

- ожидаемый головой ущерб;

- потенциальный территориальный риск;

- коллективный риск;

- индивидуальный риск;

- социальный риск (F/N -кривая).

4.2.2 Ожидаемая частота аварий f , аварий/год, – это прогнозируемое количество аварий на ОПО за один календарный год. В указанных единицах ожидаемая частота измеряется применительно к площадочным ОПО (объекту в целом или какой-либо его составляющей), а также к участкам трубопроводов (магистральных и технологических) ограниченной фиксированной длины. Для протяженных магистральных трубопроводов и отводов от них используется также понятие ожидаемой удельной частоты, измеряемой в числе аварий в год на единицу длины трубопровода (аварий/(км · год) или (аварий/(1000 км · год)). Ожидаемая частота аварий для различных видов ОПО рассчитывается в соответствии с 5.4, 6.4, 7.4.

4.2.3 Размер(ы) зоны воздействия заданного поражающего фактора аварии определяе(ю)тся при необходимости (по указанию заказчика КоАП) на основе результатов расчета территориального распределения основной физической характеристики этого поражающего фактора путем задания порогового значения указанной характеристики с построением соответствующих изолинии(й) и последующего измерения характерных размеров (радиуса круга, малой и большой осей эллипса или продольного и поперечного размеров) полученного изображения зоны на уровне земли.

Примечание – например, характерным размером зоны теплового воздействия от вертикального цилиндрического пламени при заданном пороговом значении теплового потока облучения $1,5 \text{ кВт/м}^2$, является радиус круга с центром, совпадающим с центром основания пламени, который (т.е. круг) образован изолинией $1,5 \text{ кВт/м}^2$.

4.2.4 Количество пострадавших N , чел., – характеристика потерь среди людей в результате конкретной аварии на ОПО. Значения этой характеристики рекомендуется рассчитывать для каждого расчетного сценария аварии, а при разработке деклараций промышленной безопасности и паспортов безопасности ОПО требуется их определять в отношении персонала

ОПО и населения при реализации наиболее вероятного и наиболее неблагоприятного по последствиям сценариев аварий на ОПО.

4.2.5 Ущерб от аварии, $У$, руб., определяется как потери (убытки) в производственной сфере ОПО, убытки третьих лиц и вред природной среде в результате одной конкретной аварии на ОПО и исчисляется в денежном выражении. В определенных случаях (по согласованию с заказчиком КолАР) ущерб допускается исчислять в натуральных показателях. Значения этой характеристики рекомендуется рассчитывать для каждого расчетного сценария аварии, а при разработке деклараций промышленной безопасности и паспортов безопасности ОПО требуется их определять для случаев реализации наиболее вероятного и наиболее неблагоприятного по последствиям сценариев аварий на ОПО.

В настоящем стандарте рассматривается только прямой ущерб от воздействия поражающих факторов аварий, который не включает в себя косвенные потери организации, эксплуатирующей ОПО (потери доходов в результате простоев и т.д.).

Основными составляющими ущерба от аварии являются:

- социально-экономический ущерб – ущерб, связанный с гибелью и травмированием людей, выбытием трудовых ресурсов в результате реализации конкретного сценария аварии;
- прямой ущерб производству на ОПО – ущерб, связанный с уничтожением или повреждением основных фондов и товарно-материальных ценностей организации в результате реализации конкретного сценария аварии;
- ущерб, связанный с затратами на локализацию аварии, ликвидацию ее последствий и расследование причин;
- ущерб имуществу третьих лиц – ущерб, связанный с уничтожением или повреждением в результате реализации конкретного сценария аварии зданий, сооружений, инженерных коммуникаций, продукции, сырья, принадлежащих другим (третьим) лицам;
- экологический ущерб – ущерб, связанный с загрязнением атмосферы, водных ресурсов, почвы, уничтожением лесных массивов, других компонентов природной среды в результате реализации конкретного сценария аварии.

4.2.6 Условная вероятность поражения людей $P_{гиб}$, %, определяется как условная вероятность гибели человека или процент погибших среди группы людей, находящихся в рассматриваемой точке территории при реализации с вероятностью, равной 1, конкретного сценария аварии. При практических расчетах рекомендуется строить изолинии условной вероятности поражения на плане территории ОПО и прилегающей территории при реализации наиболее вероятного и наиболее неблагоприятного по последствиям сценариев аварий на ОПО (см. 5.9).

4.2.7 Ожидаемый ущерб от аварий на ОПО У, руб./год, определяется как математическое ожидание ущерба от возможных аварий за один календарный год эксплуатации ОПО. Рассчитывается с учетом ожидаемой частоты аварий на ОПО в соответствии с 5.13, 6.13, 7.13.

Основными составляющими ожидаемого годового ущерба являются:

- ожидаемый годовой социально-экономический ущерб – прогнозируемый ущерб за год, связанный с гибелью и травмированием людей, выбытием трудовых ресурсов в результате возможных аварий;

- ожидаемый годовой прямой ущерб производству на ОПО – прогнозируемые ежегодные потери основных фондов и товарно-материальных ценностей организации, которые могут быть уничтожены или повреждены в результате возможных аварий;

- ожидаемый годовой ущерб, связанный с затратами на ликвидацию возможных аварий, и расследование их причин;

- ожидаемый годовой ущерб имуществу третьих лиц – прогнозируемые ежегодные затраты, связанные с уничтожением или повреждением в результате возможных аварий зданий, сооружений, инженерных коммуникаций, продукции, сырья, принадлежащих другим (третьим) лицам;

- ожидаемый годовой экологический ущерб – прогнозируемый ежегодный ущерб, связанный с загрязнением атмосферы, водных ресурсов, почвы, уничтожением лесных массивов и других компонентов природной среды в результате возможных аварий.

4.2.8 Потенциальный территориальный риск R_{pot} , 1/год, трактуется как ожидаемая частота гибели человека в результате воздействия совокупности поражающих факторов всех расчетных сценариев аварий на ОПО при условии постоянного (условно) нахождения человека в рассматриваемой точке территории. Потенциальный риск отражает максимально возможный уровень опасности для человека без учета возможности его временного (периодического) отсутствия в рассматриваемой точке пространства, а также без учета возможных действий человека по своей защите от поражающих факторов аварий (действий по избеганию опасности). Рассчитывается в соответствии с 5.12, 6.12, 7.12.

4.2.9 Коллективный риск R_{col} , чел./год, определяется как ожидаемое количество погибших в результате возможных аварий за один календарный год эксплуатации ОПО на определенной территории (территории самого ОПО и территории, примыкающей к ОПО). Определяется по результатам расчета территориального распределения потенциального риска с учетом пространственно-временного распределения людей в соответствии с 5.12, 6.12, 7.12.

4.2.10 Индивидуальный риск R_{ind} , 1/год, допускается определять как частоту гибели представителя выделенной категории людей (а не отдельного индивидуума) в результате воз-

действия совокупности поражающих факторов аварий с учетом показателей жизнедеятельности этой категории людей (доли времени нахождения в рассматриваемой точке за выбранный период времени, особенностей физиологического восприятия негативного воздействия, адекватности действий при чрезвычайных ситуациях, наличия и эффективности систем защиты от соответствующего поражающего фактора и т.д.). При этом допускается применять показатель среднего индивидуального риска (см. 5.12).

4.2.11 Социальный риск характеризует риск для групп людей и интерпретируется так называемой диаграммой частот-последствий (F/N -кривой), представляющей собой зависимость частоты F возникновения событий, при которых пострадает с определенной степенью тяжести не менее N человек, от этого числа N . Социальный риск отражает тяжесть последствий аварий, связанных с поражением людей, т.е. катастрофичность аварий, и рассчитывается в соответствии с 5.12.6.

При практическом анализе риска F/N -диаграмма строится в виде кривой кумулятивной (накопленной) частоты потенциального события с N летальных исходов, получаемой сложением частот реализации ряда расчетных сценариев с определенным числом погибших в каждом сценарии. В итоге диаграмма иллюстрирует, по существу, вероятность реализации N или более летальных исходов.

F/N -кривая рекомендуется к использованию, когда выбран определенный критерий приемлемости ущерба, как, например, в случае, когда надзорными органами регламентируется неприемлемость реализации более чем 10 летальных исходов в результате аварии.

4.3 Основные этапы анализа риска

4.3.1 Основными этапами количественного анализа риска являются:

- планирование и организация работ по анализу риска;
- идентификация опасностей;
- оценка риска;
- разработка рекомендаций по уменьшению риска.

Указанные этапы состоят из подэтапов, приведенных на блок-схеме обобщенной процедуры количественного анализа риска, как показано на рисунке 4.1.

4.3.2 На этапе I КолАР «Планирование и организация работ» следует:

- определить причины, факторы и проблемы, обусловившие необходимость проведения анализа риска;
- организовать группу специалистов для выполнения КолАР;
- определить цели и задачи анализа риска в соответствии с требованиями заказчика КолАР и с учетом стадии жизненного цикла ОПО (см. 4.1);

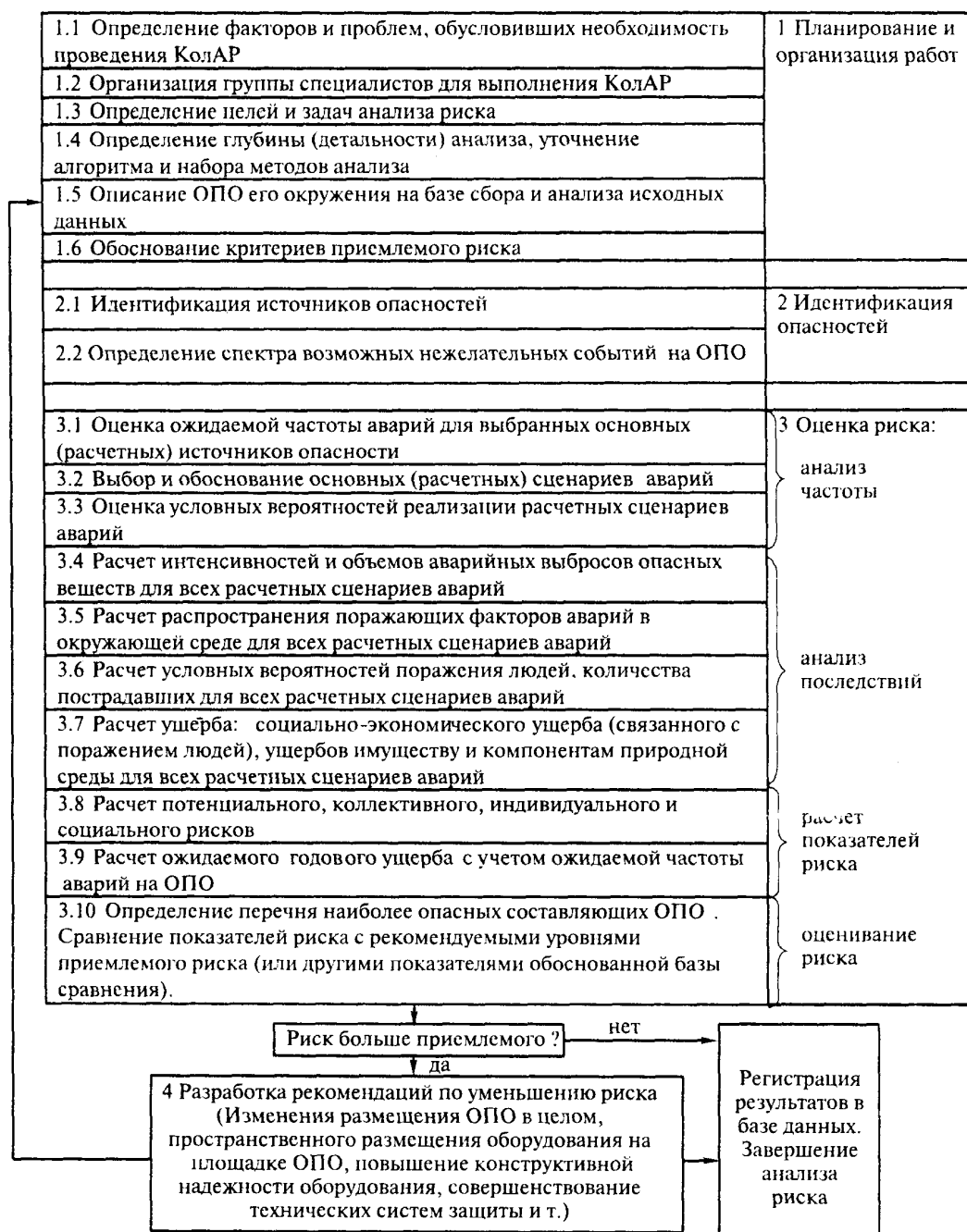


Рисунок 4.1 – Этапы выполнения КолАР

- определить глубину (детальность) анализа риска с учетом целей и задач анализа, финансовых ресурсов, выделенных на проведение анализа, ограничений исходных данных об ОПО и на этой основе уточнить набор рассчитываемых показателей риска, алгоритм и набор методов анализа риска из числа рекомендуемых в настоящем стандарте;

- уточнить состав группы специалистов для выполнения КолАР с учетом выявленной глубины анализа риска;

- собрать данные и описать ОПО (технологическое оборудование, коммуникации, сооружения, здания, системы управления и защиты), его природное и социальное окружение с учетом требований и рекомендаций, изложенных в [2, 4] и 5.2.5, 6.2.5, 7.2.5:

- обосновать критерии приемлемого риска, которые рекомендуется определять, базируясь либо на нормах и правилах промышленной безопасности, либо на сведениях об имевших место авариях, инцидентах, их последствиях (среднестатистических показателях техногенных происшествий), либо на фоновых показателях риска повседневной деятельности, либо на учете баланса «риск-выгода» для рассматриваемого ОПО. Допускается также использовать рекомендуемые для Российской Федерации предельно допустимые уровни риска для населения, изложенные в Декларации Российского научного общества анализа риска [8].

4.3.3 На втором этапе КолАР «Идентификация опасностей» на основе детального анализа материально-технической базы и технологической специфики ОПО следует:

- выявить и описать все обращающиеся на ОПО опасные вещества (характеристики и количество каждого вещества);

- выявить и описать все источники опасностей, которыми могут быть технические устройства, технологические блоки и процессы, участки трубопроводов: описать места их расположения на ОПО;

- определить пути реализации этих опасностей, т.е. все принципиально возможные сценарии аварий (прежде всего – сценарии, аналогичные событиям, имевшим место в реальности). При этом рекомендуется использовать один из следующих качественных методов анализа риска (или их совокупность): «Что будет, если...?» (What if), метод анализа опасностей и работоспособности (HAZOP), контрольный список (Checklist), метод анализа видов и последствий отказов (FMEA), метод анализа деревьев отказов и деревьев событий (последний в рамках описываемого этапа следует использовать без определения вероятностей событий) [9,10].

При описании сценариев определяются условия возникновения и последовательность развития аварий с учетом, прежде всего, возможности взрыва, пожара, разлета осколков, токсического поражения и других поражающих факторов, возникающих при нарушениях герметичности или разрывах трубопроводов и емкостного оборудования.

Анализ риска может быть прекращен на этом этапе только в том случае, если предварительно приблизительно оцененные последствия реализации каждого из выявленных сценариев оказываются незначительными или нулевыми для целевых реципиентов.

Примечание – Например, если в качестве цели КолАР сформулирован расчет показателей риска для населения, а предварительная оценка последствий показала, что ни один из поражающих факторов аварий ни при каких условиях не выходит за пределы огороженной территории ОПО, то процедуру КолАР можно завершить на данном начальном этапе, сделав вывод о безопасности ОПО для населения.

Идентификацию опасностей следует осуществлять в соответствии с 5.3, 6.3, 7.3 с учетом приложений А, Б, В. При этом рекомендуется учитывать результаты регистрации ОПО в государственном реестре ОПО, данные о распределении опасных веществ в технологических системах объекта, информацию, представленную в проектной документации на ОПО и эксплуатационной документации эксплуатирующей организации, данные расследования причин аварий.

4.3.4 Подэтап 3.1 «Оценка ожидаемой частоты аварий» этапа 3 КолАР «Оценка риска» состоит в определении для каждого источника опасности в составе ОПО (из числа выбранных на предыдущем этапе расчетных источников) частоты возникновения потенциальных аварий на нем. Оценку рекомендуется проводить, прежде всего, на основе анализа статистических данных об имевших место авариях на аналогичных технологических объектах с использованием метода корректировки средней частоты с учетом имеющихся конструктивно-технологических отличий конкретного анализируемого объекта и местных факторов влияния на вероятность нарушения его целостности (см. 5.4, 6.4, 7.4).

При отсутствии статистических данных по имевшим место авариям, но при наличии данных о параметрах надежности элементов, составляющих анализируемую технологическую систему (блок, установку и т.п.), рекомендуется использовать метод дерева отказов [9].

4.3.5 На подэтапе 3.2 «Выбор и обоснование основных (расчетных) сценариев аварий» из всей совокупности выявленных на этапе идентификации опасностей нежелательных событий следует выполнить выбор и обоснование расчетных сценариев (т.е. характерных и наиболее опасных, принимаемых в расчет для проведения дальнейшей количественной оценки риска ОПО) путем предварительной сравнительной оценки последствий каждого нежелательного события. При этом критичность событий и масштабы последствий оцениваются по критериям, сформулированным при определении целей и задач анализа риска и «целевых» категорий реципиентов. Выбор и обоснование расчетных сценариев следует проводить в соответствии с 5.5, 6.5, 7.5.

4.3.6 Подэтап 3.3 КолАР «Оценка условных вероятностей реализации расчетных сценариев аварий» состоит в определении для каждого расчетного сценария аварии на каждом расчетном источнике опасностей вероятности его реализации при условии, что авария произошла. Оценку рекомендуется проводить с использованием метода дерева событий [9]. При этом значения вероятностей альтернатив в узлах разветвлений дерева рекомендуется определять как статистические условные вероятности (относительные частоты) реализации альтернативных событий на основе анализа соответствующих статистических данных (в частности, данных по возгоранию-невозгоранию газа при аварийном выбросе, срабатыванию-несраба-

тиванию элементов систем пожаротушения и т.д.). Подэтап следует выполнять в соответствии с указаниями, изложенными в 5.6, 6.6, 7.6.

4.3.7 Подэтап 3.4 КолАР «Расчет интенсивностей и объемов аварийных выбросов опасных веществ» состоит в математическом моделировании для каждого расчетного сценария аварии газо- или гидродинамических процессов истечения в окружающую среду газа, жидкости или двухфазного флюида с целью определения зависимостей скорости истечения флюида от времени и интегральных объемов выбросов флюида за заданное время. Подэтап следует выполнять в соответствии с указаниями 5.7, 6.7, 7.7 и приложениями Г, Д.

4.3.8 Подэтап 3.5 КолАР «Расчет распространения поражающих факторов аварий в окружающей среде» состоит в математическом моделировании для каждого расчетного сценария аварии газодинамических и тепломассообменных процессов, определяющих особенности физико-химических трансформаций истекающего флюида в окружающей среде (например, характер воспламенения газа, форму и размеры пламени), а также возникновение и распространение поражающих факторов аварии (теплового облучения, воздушной волны сжатия, осколков и т.п.) на рассматриваемой территории с учетом природно-климатических характеристик местности. Результатом выполнения подэтапа являются территориальные распределения значений физических характеристик поражающих факторов аварий (например, совокупность изолиний удельного теплового потока от пожара, нанесенная на план территории ОПО и местности вокруг него). Подэтап следует выполнять в соответствии с указаниями 5.8, 6.8, 7.8 и приложениями Е, Ж.

4.3.9 Подэтап 3.6 КолАР «Расчет условных вероятностей поражения людей и количества пострадавших» состоит:

- в определении для каждой из выявленных к рассмотрению категорий потенциальных реципиентов (например, для персонала ОПО) функциональной связи между мерой негативного воздействия того или иного поражающего фактора аварии (например, дозой теплового облучения) и условной вероятностью поражения (гибели) человека;

- оценке значения этой вероятности для каждого расчетного сценария аварии в различных точках территории внутри зоны действия поражающего фактора (т.е. при условии, что реципиенты находятся непосредственно в зоне действия поражающего фактора);

- расчете числа погибших и раненых для каждого расчетного сценария аварии.

Подэтап следует выполнять в соответствии с указаниями 5.9, 6.9, 7.9 и приложением И.

4.3.10 Подэтап 3.7 КолАР «Расчет ущерба» состоит:

- в оценке социально-экономического ущерба, связанного с гибелью и травмированием людей, в денежном выражении для каждого расчетного сценария аварии;

СТО Газпром 2-2.3-351-2009

- определении для каждой из рассматриваемых категорий имущества (зданий, сооружений, технологического оборудования, дорог), принадлежащего собственнику ОПО и третьим лицам, и для каждой из рассматриваемых категорий компонентов природной среды (лесных угодий, почв, сельхозкультур, акваторий) критериев их повреждения или уничтожения тем или иным поражающим фактором аварии;

- оценке степени повреждения и объемов (в натуральном выражении) поврежденных или уничтоженных компонентов имущества и природной среды для каждого расчетного сценария аварии;

- расчете соответствующих ущербов имуществу и природным компонентам в денежном выражении для каждого расчетного сценария аварии;

- расчете затрат на ликвидацию аварии и расследование ее причин.

Подэтап следует выполнять в соответствии с указаниями 5.9–5.11; 6.9 – 6.11; 7.9–7.11 и приложениями И, К.

4.3.11 Подэтап 3.8 КолАР «Расчет потенциального, коллективного, индивидуального и социального рисков» состоит:

- в определении в каждой расчетной точке территории ОПО и вокруг него значения потенциального риска, рассчитываемого с учетом ожидаемой частоты аварий на всех принятых к расчету источников опасности на ОПО и возможных воздействий поражающих факторов, реализуемых при авариях на этих источниках, на человека, условно постоянно находящегося в рассматриваемой точке;

- построении изолиний потенциального риска на плане территории ОПО и вокруг него;

- расчете показателей коллективного, индивидуального и социального риска ($F-N$ -диаграмм) для персонала и населения с учетом конкретного распределения людей по территории и времени пребывания на ней, а также адекватности их действий и/или эффективности штатных систем защиты.

Подэтап следует выполнять в соответствии с указаниями 5.12, 6.12, 7.12.

4.3.12 Подэтап 3.9 КолАР «Расчет ожидаемого годового ущерба с учетом частоты аварий на ОПО» состоит из определения в денежном выражении (руб./год) ожидаемых годовых (т.е. с учетом частоты возникновения аварий) ущербов различным реципиентам (социально-экономического ущерба, прямого ущерба имуществу организации, ущерба имуществу третьих лиц, затрат на ликвидацию и расследование причин аварий, экологического ущерба) и суммарного ожидаемого годового ущерба.

Подэтап следует выполнять в соответствии с указаниями 5.13, 6.13, 7.13.

4.3.13 Подэтап 3.10 КолАР «Определение перечня наиболее опасных составляющих ОПО. Сравнение показателей риска с рекомендуемыми уровнями приемлемого риска (или другими показателями обоснованной базы сравнения)» состоит:

- в определении наиболее вероятных и наиболее опасных по последствиям сценариев аварий на ОПО;
- выделении по результатам проведенного анализа риска наиболее опасных по показателям риска составляющих ОПО;
- сравнении рассчитанных показателей риска для различных категорий реципиентов с рекомендованными уровнями приемлемого риска или другими показателями обоснованной базы сравнения для тех же категорий реципиентов.

Подэтап следует выполнять в соответствии с указаниями 5.14, 6.14, 7.14.

4.3.14 Этап 4 КолАР «Разработка рекомендаций по уменьшению риска» состоит для действующих ОПО в выработке на основе результатов проведенного анализа риска обоснованных технических и организационных мероприятий для снижения риска на ОПО и предложений по рациональному распределению средств на ремонт, реконструкцию, дополнительное техобслуживание технологических систем, блоков, участков с учетом неравнозначности выявленных уровней опасности этих участков.

Для проектируемых ОПО данный этап состоит в выработке на основе результатов проведенного анализа риска обоснованных предложений по изменению размещения и взаимного расположения составляющих ОПО и блоков (участков) в их составе, предложений по оптимизации технических решений, влияющих на конструктивную надежность элементов ОПО и масштабы последствий возможных аварий.

5 Анализ риска линейной части магистральных газопроводов

5.1 Блок-схема анализа риска линейной части магистральных газопроводов

5.1.1 Структура, содержание этапов алгоритма и методический подход к анализу риска ЛЧ МГ определяются выраженной спецификой линейной части, характеризующейся следующими особенностями:

- высокая производительность МГ и значительная протяженность секций между линейными кранами – свойства, объективно обуславливающие в случае разрыва трубопровода выброс в окружающую среду больших количеств природного газа;
- прямой контакт МГ с природной средой, предопределяющий наличие взаиморазрушающих процессов в системе «трубопровод-среда», снижающих конструктивную надежность трубопровода;
- линейная протяженная макрогеометрия, обуславливающая:

а) тот факт, что разные участки трассы каждого конкретного трубопровода эксплуатируются в неодинаковых грунтовых, гидрогеологических, геокриологических, ландшафтно-топографических, сейсмических, социально-демографических, хозяйственно-экономических и связанных с ними антропогенных и техногенных условиях при изменяющихся по трассе конструктивно-технологических и эксплуатационных параметрах самого трубопровода, что предопределяет различие на разных участках трассы, во-первых, значений ожидаемой частоты аварий и, во вторых, видов и объемов возможного ущерба от аварий;

б) непредсказуемость точного места возникновения аварии по длине трассы, что усложняет методические подходы к расчету показателей риска на прилегающей к трассе трубопровода территории;

в) прохождение значительной части МГ по густонаселенным территориям при отсутствии ограждения трасс, обуславливающее повышение вероятности антропогенных воздействий на трубопровод и возникновения большого социально-экономического ущерба в результате вызванных этими воздействиями аварий.

5.1.2 При проведении анализа риска ЛЧ МГ в соответствии с приведенной на рисунке 5.1 блок-схемой под аварией на ЛЧ МГ следует понимать разрыв газопровода на полное сечение с выбросом природного газа с воспламенением или без воспламенения в окружающую среду.

5.1.3 Блок-схема анализа риска линейной части магистральных трубопроводов (в том числе МГ и МКП) приведена на рисунке 5.1.

5.2 Планирование и организация работ

5.2.1 Исходными информационными материалами для выполнения этапа 1 «Планирование и организация работ по анализу риска на ЛЧ МГ» являются:

- ТЗ заказчика на выполнение работы, связанной с необходимостью проведения количественного анализа риска МГ;

- информация о фоновых уровнях риска (среднестатистических показателях техногенных происшествий) для населения и персонала на территориях размещения трасс(ы) анализируемого МГ, уровнях приемлемого риска для населения и персонала, установленных применительно к аналогичным МГ за рубежом, а также – о рекомендуемых для Российской Федерации уровнях приемлемого риска, приведенных в Декларации Российского научного общества анализа риска [8].

Последовательность выполнения этапа отражена в 5.2.2–5.2.6.

5.2.2 Анализ технического задания. Типовыми (характерными) работами, указываемыми в ТЗ, как правило, являются:

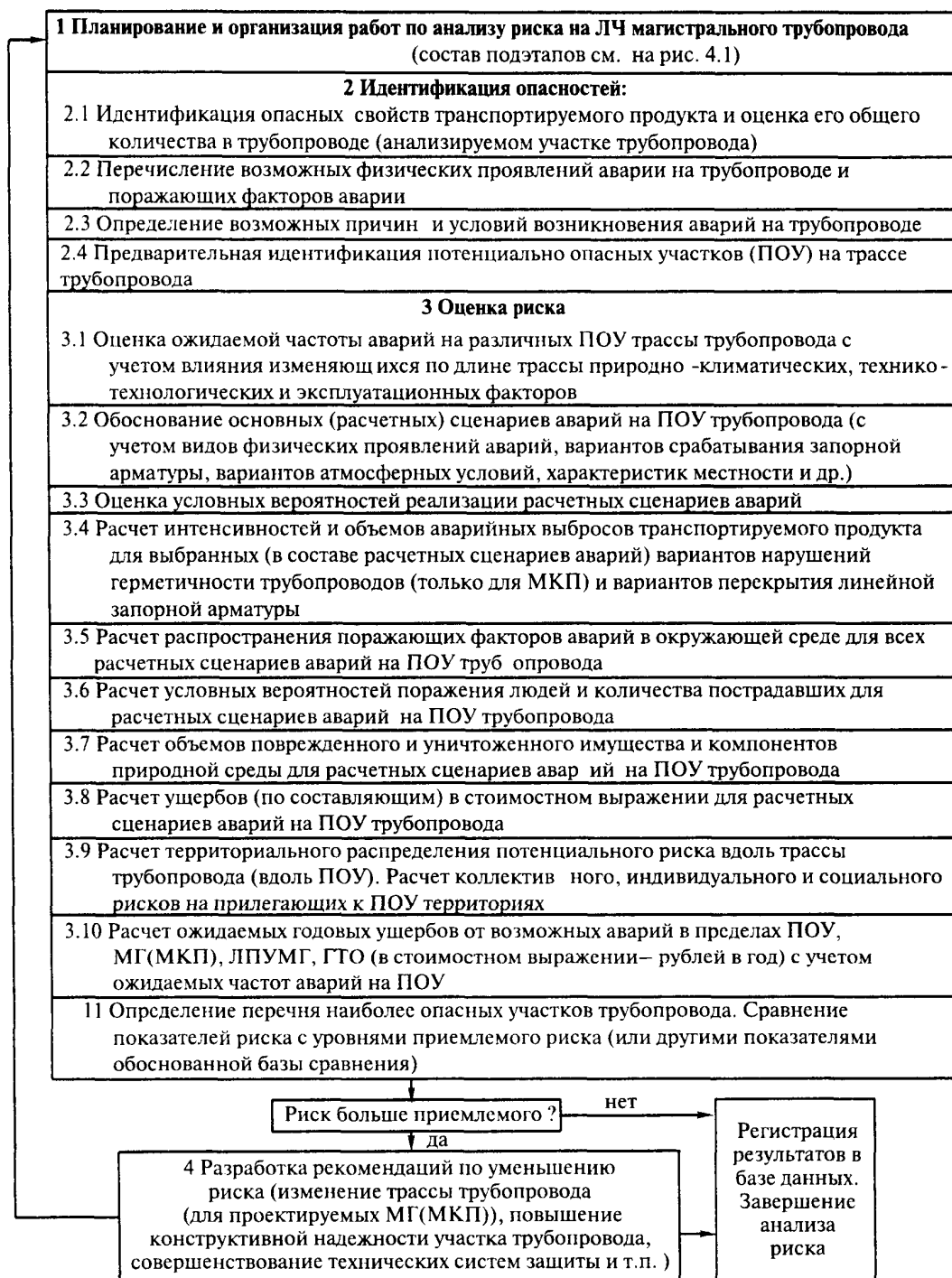


Рисунок 5.1 – Блок-схема анализа риска на ЛЧ магистральных трубопроводах

- разработка декларации(ий) промышленной безопасности [2] для всего комплекса действующих ОПО (в том числе участков МГ и газопроводов-отводов) в составе ГТО ОАО «Газпром»;
- разработка декларации промышленной безопасности и (или) раздела ИТМ ГО ЧС в составе проектной документации на строительство, расширение, реконструкцию МГ в целом или отдельного участка МГ;

СТО Газпром 2-2.3-351-2009

- проведение анализа риска для обоснования размещения трассы участка МГ на ранних этапах проектирования МГ;
- разработка паспортов безопасности на участки действующих МГ;
- разработка планов по локализации и ликвидации аварий (ПЛА) для проектируемых и действующих МГ;
- проведение анализа риска для отдельных участков действующих МГ для обоснования возможности строительства различных объектов вблизи трассы МГ.

В зависимости от вида указываемых в ТЗ работ следует определить цели, задачи, глубину анализа риска и состав группы специалистов для выполнения КолАР в соответствии с 5.2.3, 5.2.4.

5.2.3 Определение цели, задач и глубины анализа риска.

5.2.3.1 При разработке деклараций промышленной безопасности и паспортов безопасности для действующих МГ целью анализа риска является расчет всего спектра показателей риска (см. 4.2) для всех анализируемых участков МГ и разработка рекомендаций для эксплуатирующей организации по уменьшению риска эксплуатации МГ. Для реализации этих целей рекомендуется выполнять полный цикл количественного анализа риска с использованием методик и математических моделей, приведенных в настоящем стандарте.

5.2.3.2 При анализе риска на ранних стадиях проектирования МГ (стадии обоснования инвестиций) целью анализа риска является определение только части спектра показателей риска, как-то: характеристик и степени опасности обращающегося на МГ вещества (приложения А, Б), ожидаемой частоты аварий (на основе использования статистических данных по авариям на аналогичных МГ и построенного дерева отказов для анализируемого газопровода (приложение В)), размеров зон воздействия наиболее опасных поражающих факторов аварий, объемов ущерба и ожидаемого числа пострадавших среди населения на наиболее критичных участках трассы МГ, рассчитываемых для различных вариантов прокладки трассы МГ и вариантов предварительных технических решений по линейной части с дальнейшей разработкой рекомендаций по размещению трассы и выбору оптимальных технических решений. Глубину анализа следует ограничить применением инженерных моделей расчета последствий аварий на МГ, ряд которых приведен в приложениях Г, Е, Ж.

5.2.3.3 При разработке декларации промышленной безопасности и (или) раздела ИТМ ГО ЧС в составе проектной документации на строительство, расширение, реконструкцию МГ в целом или отдельного участка МГ целью анализа риска является расчет всех составляющих и показателей риска (см. 4.2) для проектируемого(ых) участка(ов) МГ и разработка рекомендаций по оптимизации технических решений с целью уменьшения риска МГ. Для реализации

этих целей рекомендуется выполнить полный цикл количественного анализа риска в соответствии с требованиями раздела 5.

5.2.3.4 При разработке ПЛА для линейной части МГ целью анализа риска является определение характерных сценариев аварий и оценка их последствий с дальнейшей разработкой организационно-технических мероприятий и плана действий персонала по локализации и ликвидации аварий. ПЛА следует разрабатывать с использованием готовых результатов анализа риска из декларации промышленной безопасности МГ в части рассмотренных в ней сценариев аварий и размеров соответствующих зон поражения.

5.2.4 Организация группы специалистов для выполнения КолАР.

Для проведения работ по анализу риска ЛЧ МГ рекомендуется следующий примерный состав специалистов:

- руководитель работ;
- специалист по технологии трубопроводного транспорта газа;
- специалист по автоматике и телемеханике объектов линейной части МГ;
- специалист по диагностированию линейной части МГ;
- специалист по анализу риска ОПО транспорта газа (рекомендуется наличие квалификации эксперта, осуществляющего экспертизу деклараций промышленной безопасности и документов в части анализа риска магистральных трубопроводов (шифры областей аккредитации в системе аккредитации по промышленной безопасности 4.1.5.2; 4.2.5.2);

- инженер-программист;
- оператор ЭВМ.

Необходимая численность указанных специалистов в составе конкретной группы должна определяться количеством анализируемых участков МГ с газопроводами-отводами в составе заказанной работы и требуемой (в соответствии с выявленными целями и задачами КолАР) глубиной анализа.

5.2.5 Описание анализируемого(ых) участка(ов) МГ и его окружения следует выполнять на основе анализа и систематизации следующих информационных материалов и исходных данных:

- общие сведения (наименование, адрес, телефон, Ф.И.О. руководителей) о заказчике проекта (только для проектируемых объектов);
- общие сведения об эксплуатирующей (или намеченной к роли таковой – для проектируемых МГ) организации (наименование, адрес, телефон, Ф.И.О. руководителей);
- технологическая схема участка(ов) МГ с трубопроводами-отводами;
- план трасс(ы) участка(ов) МГ с трубопроводами-отводами и прилегающей территории (с населенными пунктами, организациями, естественными и искусственными препятствиями, лесными и сельскохозяйственными угодьями);

СТО Газпром 2-2.3-351-2009

- перечень и конструктивно-технологические параметры газопровода(ов) (название, диаметр, давление, категория участка, протяженность, расстановка линейных кранов, данные по трубам и трубным сталям, изоляционным покрытиям и др.);

- описание природно-климатических условий района расположения газопровода(ов);

- характеристики грунтов (коррозионные, механические, мерзлотные и др.) вдоль трасс(ы) газопровода(ов);

- перечень и характеристики подземных переходов газопровода(ов) через дороги (автомобильные и железные);

- сведения об идущих параллельно газопроводу(ам) авто- и железных дорогах, инженерных коммуникациях;

- перечень и характеристики подводных переходов газопровода(ов);

- перечень и характеристики воздушных переходов газопровода(ов);

- перечень пересечений газопровода(ов) с инженерными коммуникациями;

- перечень и характеристики наземного оборудования линейной части газопровода(ов);

- технические характеристики системы линейной телемеханики;

- описание и основные характеристики лесных угодий вдоль трасс(ы) газопровода(ов);

- описание сельскохозяйственных угодий и распределения сельхозрабочих и сельхозтехники вдоль трасс(ы) газопровода(ов);

- данные о размещении и численности населения близлежащих населенных пунктов;

- данные о размещении и численности работников близлежащих организаций;

- перечень опасных объектов сторонних организаций, которые могут явиться источником чрезвычайной ситуации для газопровода(ов);

- численность, квалификация, режим работы и распределение обслуживающего персонала по трассе(ам) газопровода(ов);

- данные об имевших место авариях на газопроводе(ах);

- результаты диагностических обследований линейной части газопровода(ов).

5.2.6 Обоснование уровней приемлемого риска как базы для сравнения с ними расчетных показателей риска после проведения КоАП следует выполнять отдельно для населения и производственного персонала с учетом фоновых рисков, наблюдающихся на территориях прохождения анализируемого МГ, а также с учетом существующих рекомендаций по выбору уровней приемлемого риска (см. 5.14).

5.3 Идентификация опасностей на магистральных газопроводах

5.3.1 При анализе риска МГ в качестве источника опасности идентифицируется непосредственно трубопровод, транспортирующий опасное вещество – природный газ. Процеду-

ра идентификации в данном случае заключается в определении опасных свойств и параметров состояния транспортируемого газа, расчете количеств природного газа в разных секциях МГ, перечислении возможных физических проявлений аварии на МГ, определении возможных причин аварий на разных участках МГ и выделении наиболее опасных для потенциальных реципиентов участков трассы МГ.

5.3.2 Состав исходных данных для выполнения данного этапа:

- справочные материалы по характеристикам опасных веществ (приложение А);
- технологическая схема участка(ов) МГ с газопроводами-отводами;
- план трасс(ы) участка(ов) МГ с газопроводами-отводами и прилегающей территории;
- перечень и конструктивно-технологические параметры газопровода(ов);
- описание природно-климатических условий района расположения газопровода(ов);

Последовательность выполнения этапа отражена в 5.3.3–5.3.7.

5.3.3 Определение опасных свойств транспортируемого продукта.

Следует выявить и перечислить основные характеристики и опасные свойства природного газа, а также термодинамические параметры его состояния на анализируемом участке МГ, представив данные в соответствии с таблицей 5.1.

Таблица 5.1 – Характеристика опасного вещества

Наименование параметра	Значение параметра	Источник информации
1 Вид опасного вещества (в соответствии с приложением 1 Федерального закона [1])		
2 Название вещества 2.1 химическое 2.2 торговое		
3 Формула 3.1 эмпирическая 3.2 структурная		
4 Состав, % 4.1 основной продукт 4.2 примеси		
5 Общие данные 5.1 молекулярный вес 5.2 температура кипения, °С (при давлении 101 кПа) 5.3 плотность при 20 °С, кг/м ³		
6 Данные о взрывопожароопасности 6.1 температура вспышки °С 6.2 температура самовоспламенения, °С 6.3 температура воспламенения, °С 6.4 пределы взрываемости		

Окончание таблицы 5.1

Наименование параметра	Значение параметра	Источник информации
7 Данные о токсической опасности (класс опасности) 7.1 ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³ 7.2 ПДК в атмосферном воздухе, мг/м ³ 7.3 летальная токсодоза LCt_{50} 7.4 пороговая токсодоза PCt_{50}		
8 Реакционная способность		
9 Запах		
10 Коррозионное воздействие		
11 Меры предосторожности		
12 Информация о воздействии на людей		
13 Средства защиты		
14 Методы перевода вещества в безвредное состояние		
15 Меры первой помощи пострадавшим от воздействия вещества		
16 Давление (абс.) фактическое на участке трубопровода (диапазон изменения по участку), МПа		
17 Температура продукта фактическая зимняя на участке трубопровода (диапазон изменения по участку), град.С		

5.3.4 Расчет количества природного газа в анализируемом(ых) газопроводе(ах) должен обязательно выполняться при решении вопроса о необходимости разработки декларации промышленной безопасности для рассматриваемого участка МГ (разработка декларации обязательна, если фактическое количество газа на участке при проектном режиме транспортировки превышает 200 т), а также – при разработке самой декларации в соответствии с требованиями Федерального закона [1] и Порядка [2] и при разработке обоснования инвестиций в соответствии с п. 6.2 СП 11-113-2002 [40].

В остальных случаях процедура определения количества газа, как одного из показателей опасности газопровода, является рекомендуемой, но не обязательной.

Расчет следует выполнять посекционно (отдельно для каждой секции газопровода между линейными кранами) с последующим суммированием полученных значений. Порядок расчета приведен в приложении Б.

Примечание – Следует иметь в виду, что количество газа, как таковое, в секции газопровода или на участке между КС не является параметром, определяющим основные характеристики прямого поражающего воздействия при разгерметизации трубопровода, а служит лишь критерием отнесения МГ к декларируемым ОПО и определяет максимально возможную длительность существования поражающих факторов при принятии оперативных мер по локализации аварии.

5.3.5 Перечисление возможных физических проявлений аварии на МГ и поражающих факторов аварии.

На данном подэтапе рекомендуется перечислить возможные физические проявления аварии на МГ, которые определяются, прежде всего, взрывопожароопасностью природного газа и его высоким давлением в трубопроводе. По токсикологической характеристике природный газ относится к слаботоксичным веществам 4-го класса опасности. Опасность асфиксии за счет вытеснения газом кислорода на открытом воздухе незначительна.

С учетом этого, основными физическими проявлениями аварии на МГ и ее поражающими факторами являются следующие:

- разрыв газопровода без воспламенения газа, истекающего в виде свободной(ых) струи(й) из концов разрушенного МГ или шлейфа из грунтового котлована (поражающие факторы: разлет осколков, воздушная волна сжатия, скоростной напор струи газа, загазованность);

- разрыв газопровода с воспламенением газа и образованием струевых пламен или колонного пожара в грунтовом котловане (поражающие факторы: разлет осколков, воздушная волна сжатия, скоростной напор струи газа, прямое воздействие пламени, тепловое излучение).

Указанные физические проявления аварии на МГ могут иметь различные вариации в зависимости от ряда факторов, таких как связность и состав грунта, расположение концов разорвавшегося трубопровода, скорость и направление ветра и т.д. (см. 5.5).

5.3.6 Определение возможных причин и условий возникновения аварий.

Аварии на МГ происходят, как правило, по следующим причинам, определяемым источником негативного воздействия на МГ и механизмом этого воздействия, приводящего к разгерметизации трубопровода:

- коррозионное растрескивание под напряжением (КРН или стресс-коррозия);
- подземная и атмосферная коррозия;
- механические поврежения (строительной техникой, бурильным оборудованием, в результате взрывных работ, актов вандализма и терроризма);
- дефекты труб, оборудования и материалов во время их изготовления, транспортировки и СМР;
- внутренняя коррозия и эрозия;
- циклические нагрузки, приводящие к усталостному разрушению;
- природные воздействия (подвижки грунта из-за оползней, селей, карстов, землетрясений, размывов, морозного пучения и др. процессов, эффекты растепления многолетнемерзлых грунтов, обводнение траншей);

- нарушения правил технической эксплуатации магистральных газопроводов;
- неисправность оборудования, приборов и средств автоматизации, технологической связи, телемеханизации, АСУ ТП;
- вредительство.

На данном подэтапе идентификации опасностей при анализе конкретного участка МГ рекомендуется из приведенного списка причин выделить ожидаемые причины аварий применительно именно к этому участку газопровода с учетом реальных условий его эксплуатации и местных действующих факторов окружающей среды, а также с учетом имеющихся статистических данных о причинах и условиях возникновения имевших место ранее аварий на аналогичных по конструктивно-технологическим параметрам и условиям эксплуатации участках МГ. Данный подэтап может рассматриваться как подготовительный для этапа оценки ожидаемой частоты аварий на анализируемом участке МГ с учетом влияния различных факторов на газопровод (см. 5.4).

5.3.7 Предварительная идентификация потенциально опасных участков на трассе трубопровода.

Под ПОУ МГ на данном этапе анализа следует понимать участки трассы МГ, аварии на которых могут привести к значительному социально-экономическому ущербу (гибели и травмированию людей), ущербу дорогостоящим компонентам имущественного комплекса и природной среды, а также участки с повышенной вероятностью возникновения аварий.

Выделение ПОУ на трассе анализируемого МГ следует проводить с помощью плана трассы МГ с прилегающей территорией с учетом данных из технологической схемы МГ.

В качестве ПОУ в первую очередь необходимо выделять:

а) участки МГ, вблизи которых, на расстоянии не более 0,5 км от оси МГ, расположены населенные пункты, отдельные общественные здания, места массового скопления людей и комплексы зданий, сооружений, оборудования сторонних организаций.

Расположение и длина каждого участка для перечисленных потенциально поражаемых объектов при условии, что длина x_{min} проекции контура территории объекта в плоскости земли на ось МГ не превышает $0,2 L_{\text{min}}$ (где L_{min} – расстояние от оси МГ до ближайшей к МГ точке объекта), приближенно определяются следующим образом. Серединой участка является точка пересечения с осью МГ перпендикуляра, проведенного к оси МГ из ближайшей к МГ точки рассматриваемого объекта. Длина участка определяется выражением:

$$L_{\text{ПОУ}} = 2 \cdot \sqrt{H_{\text{кр}}^2 - L_{\text{min}}^2}, \quad (5.1)$$

где $H_{\text{кр}}$ – дальность распространения от места аварии превалирующего поражающего фактора аварии на МГ (тепловой радиации от пожара), вычисляемая по формуле (5.63), км;

L_{min} – расстояние от оси МГ до ближайшей к МГ точке объекта, км.

В случае $x_{\text{III}} > 0,2 L_{\text{III}}$ серединой ПОУ является середина проекции контура территории объекта на ось МГ, а длина ПОУ получается путем добавления к длине, вычисленной по (5.1), величины x_{III} .

б) подземные переходы через автомобильные и железные дороги и примыкающие к ним участки МГ по $L_{\text{ажл}}$ км в обе стороны от переходов, где $L_{\text{ажл}} = H_{\text{кр}}$ – см. формулу (5.63).

Дополнительно в качестве ПОУ рекомендуется рассматривать следующие участки:

- а) участки МГ, проходящие по обрабатываемым сельскохозяйственным угодьям;
- б) участки МГ, вблизи которых, на расстоянии не более 0,5 км от оси МГ, расположены лесные угодья;
- в) участки МГ, на которых расположены площадки крановых узлов, газоизмерительные станции, включая участки длиной $H_{\text{кр}}$ в обе стороны по трассе МГ от мест расположения наземного оборудования;
- г) подводные переходы МГ с береговыми размываемыми участками;
- д) участки пересечений МГ с различными трубопроводами, включая участки МГ длиной $H_{\text{кр}}$ в обе стороны от мест пересечений;
- е) участки МГ, на которых когда-либо имели место разрывы и свищи или по результатам диагностирования обнаружены опасные дефекты в стенке трубы;
- ж) участки МГ, примыкающие к компрессорным станциям со стороны нагнетания.

Следует обозначить на плане трассы МГ границы всех ПОУ для дальнейшего анализа, определить километраж их границ по трассе МГ и пронумеровать ПОУ порядковыми номерами.

Следующие этапы КолАР проводятся для каждого выделенного на трассе МГ ПОУ.

5.4 Оценка ожидаемых частот возникновения аварий на магистральных газопроводах

5.4.1 Оценка (прогнозирование) ожидаемых частот аварий на линейной части МГ (этап 3.1 КолАР – см. рисунок 5.1) должна проводиться по методикам ОАО «Газпром», утвержденным в установленном порядке, в том числе, по рекомендуемым в данном подразделе настоящего стандарта.

5.4.2 При оценке (прогнозировании) ожидаемых частот аварий на линейной части МГ следует учитывать:

- статистические данные (в первую очередь ООО «Газпром газнадзор») по количеству, частоте и причинам аварий на газопроводах с разными технико-технологическими параметрами, эксплуатирующихся в разных ДО ОАО «Газпром»;
- влияние на вероятность нарушения целостности МГ различных внешних и внутренних факторов: природно-климатических условий, технико-технологических, эксплуатационных и возрастных параметров МГ, антропогенных (связанных с промышленно-хозяйственной

деятельностью, плотностью населения) и других факторов, изменяющихся, как правило, вдоль трассы МГ.

5.4.3 Для оценки (прогнозирования) в рамках проведения КолАР ожидаемых частот аварий на произвольных участках МГ рекомендуется применять методики, использующие принцип корректировки среднестатистической удельной частоты аварий на газопроводах газотранспортной компании (ДО, корпорации, страны) с помощью системы коэффициентов и/или балльных оценок, учитывающих неравнозначное на разных участках трасс МГ влияние на газопровод упомянутых в 5.4.2 разнородных факторов.

К преимущественному применению рекомендуется «Методика экспертной оценки ожидаемой частоты аварий на участке газопровода (МЭОЧАГаз)», разработанная в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в составе Рекомендаций [11]. Указанная методика использует принцип корректировки среднестатистической удельной частоты аварий на ЛЧ МГ ОАО «Газпром» λ_{cp} (выраженной в количестве аварий на 1000 км в год и определенной за последние 10 лет) с помощью специально выстроенной системы из 7 групп факторов влияния с установленными экспертным путем весовыми коэффициентами и шкалами балльных оценок факторов и может применяться для сухопутных участков и подводных переходов МГ как при наличии результатов внутритрубной дефектоскопии, так и при их отсутствии.

5.4.4 В рамках КолАР оценку ожидаемых удельных частот аварий (λ_n) на линейной части анализируемого МГ с помощью МЭОЧАГаз рекомендуется выполнять применительно к заранее выделенным ПОУ данного МГ (см. 5.3.7). Рассчитанные для каждого ПОУ значения λ_n следует занести в таблицу (см. таблицу 5.2 с примером ее заполнения).

Таблица 5.2 – Ожидаемые частоты аварий на потенциально опасных участках МГ

Номер (n) и положение ПОУ на трассе МГ, км-км	1 км 502,34– км 503,45	2 км 512,14– км 514,00	...	n км 515,05– км 516,32	...	N км 517,09– км 518,20
λ_n , аварий/(1000 км · год)	0,241	0,125	...	0,452	...	0,653

5.5 Определение расчетных сценариев аварий на магистральных газопроводах

5.5.1 На данном этапе КолАР (этап 3.2 в соответствии с блок-схемой на рисунке 5.1) следует определить типовые расчетные сценарии аварий на ЛЧ МГ с указанием характерных для них поражающих факторов.

5.5.2 Применительно к ЛЧ МГ сценарий аварии в обобщенном виде кратко описывается следующим образом: разгерметизация трубопровода с выбросом (истечением) природного газа в окружающую среду → взаимодействие потока газа с компонентами ОС и его физи-

ко-химические трансформации в ОС (физическое проявление аварии) → воздействие поражающих факторов на реципиентов → поражение реципиентов.

Сценарный анализ рекомендуется строить по иерархической схеме, включающей группы сценариев $C_1 \dots C_i$ и входящие в них расчетные сценарии $C_{11} \dots C_{ij} \dots C_{i1} \dots C_{21} \dots C_{2j} \dots C_{2j} \dots C_{11} \dots C_{ij} \dots C_{i1}$, где i – номер группы сценариев, j – номер сценария в i -й группе.

5.5.3 Группа сценариев аварии – это совокупность сценариев, характеризующихся одним и тем же типом физических проявлений аварии.

Наибольшая энергия при аварии на МГ выделяется при горении газа, с чем связаны и наиболее тяжелые последствия аварии. По этой причине воспламенение или невоспламенение газа определяет следующие наиболее значимые при анализе риска типы физических проявлений аварии на МГ, различающиеся, кроме факта горения/негорения, еще и характером истечения газа:

- горение относительно низкоскоростного вертикального или наклонного шлейфа («колонны») газа, образовавшегося в результате смешения двух струй газа, истекающих из концов разорвавшегося трубопровода в едином грунтовом котловане (как правило, в «твердых» грунтах с высокой связностью);

- горение двух свободных высокоскоростных струй газа (настильных, т.е. с углом наклона оси факела к горизонту не более 8° – 10° , или наклонных, т.е. с углом наклона к горизонту более 8° – 10°), истекающих из двух концов (плетей) разрушенного трубопровода, вырванных из грунта (как правило, из «слабонесущего» грунта с низкой связностью) на поверхность земли (для подземного МГ) или сорванных с опор (для надземного участка МГ);

- рассеивание без воспламенения низкоскоростного шлейфа газа, истекающего из грунтового котлована;

- рассеивание без воспламенения двух свободных высокоскоростных струй газа (настильных или с некоторым углом наклона к горизонту).

В соответствии с указанными типами физических проявлений аварии на линейной части МГ рекомендуется при анализе риска МГ учитывать следующие 4 группы сценариев (см. таблицу 5.3).

5.5.4 Расчетный j -й сценарий C_{ij} i -й группы сценариев – это один из вариантов реализации соответствующей типовой последовательности из таблицы 5.3. Такая конкретная реализация может определяться рядом факторов, проклассифицированных в таблице 5.4 в соответствии с их влиянием на характер поступления газа в атмосферу («функцию источника») и на особенности распространения опасных веществ или энергии (тепловой радиации, волн сжатия и др.) в окружающей среде.

Таблица 5.3 – Группы сценариев аварий на ЛЧ МГ

Обозначение и название группы	Группа сценариев (типичная последовательность событий)	Поражающие факторы
С ₁ «Пожар в котловане» («Пожар колонного типа»)	Разрыв газопровода → образование котлована в грунте (как правило, в нормальных («твердых») грунтах) → образование первичной воздушной волны сжатия за счет расширения компримированного газа в атмосфере → разлет осколков трубы и фрагментов грунта → истечение газа из котлована в виде «колонного» шлейфа → воспламенение истекающего газа с образованием «столба» пламени в форме, близкой к цилиндрической → образование при воспламенении газа вторичной, незначительной по поражающему воздействию, ВВС → попадание людей, сооружений, оборудования ЛЧ МГ, транспорта, растительности в зону радиационного термического воздействия от пожара → гибель или получение людьми ожогов различной степени тяжести, а также травм от воздействия ВВС, осколков; уничтожение или повреждение перечисленных выше материальных объектов и элементов природной среды; загрязнение атмосферы продуктами сгорания	Разлет осколков, воздушная волна сжатия (ВВС), тепловое излучение от пламени, токсичные продукты сгорания
С ₂ «Струевые пламена»	Разрыв газопровода → «вырывание» плетей разрушенного газопровода из грунта на поверхность (как правило, «в слабонесущих» грунтах) → образование первичной ВВС → разлет осколков трубы и фрагментов грунта → истечение газа из газопровода в виде двух независимых высокоскоростных струй → воспламенение истекающего газа с образованием двух струй пламени, горизонтальных или наклонных (вверх) → образование при воспламенении газа вторичной, незначительной по поражающему воздействию, ВВС → попадание людей, сооружений, оборудования ЛЧ МГ, транспорта, растительности в зону прямого или радиационного термического воздействия от пожара → гибель или получение людьми ожогов различной степени тяжести, а также травм от воздействия ВВС, осколков; уничтожение или повреждение перечисленных выше материальных объектов и элементов природной среды; загрязнение атмосферы продуктами сгорания	Разлет осколков, ВВС, скоростной напор струи, прямое воздействие пламени, тепловое излучение от пламени, токсичные продукты сгорания
С ₃ «Рассеивание низкоскоростного шлейфа газа»	Разрыв газопровода → образование котлована в грунте (как правило, в нормальных («твердых») грунтах) → образование ВВС → разлет осколков трубы и фрагментов грунта → истечение газа из газопровода в виде колонного шлейфа → рассеивание истекающего газа без воспламенения → попадание людей, сооружений, оборудования ЛЧ МГ, транспорта в зону барического воздействия или газового облака → получение людьми травм и повреждение указанных выше материальных объектов в результате воздействия ВВС и/или осколков; асфиксия людей при попадании в газовое облако; загрязнение атмосферы природным газом	Разлет осколков, ВВС, попадание природного газа в атмосферу
С ₄ «Рассеивание двух струй газа»	Разрыв газопровода → вырывание плетей разрушенного газопровода из грунта на поверхность (как правило, в «слабонесущих» грунтах) → образование ВВС → разлет осколков трубы и фрагментов грунта → истечение газа из газопровода в виде двух свободных независимых струй → рассеивание истекающего газа без воспламенения → попадание людей, сооружений, оборудования ЛЧ МГ, транспорта в зону барического, осколочного воздействия или газового облака → получение людьми травм и повреждение указанных выше материальных объектов в результате воздействия ударной волны и/или скоростного напора струи и/или осколков; асфиксия людей при попадании в газовое облако; загрязнение атмосферы природным газом	Разлет осколков, ВВС, скоростной напор струи, попадание природного газа в атмосферу

Таблица 5.4 – Факторы, определяющие сценарии аварии на ЛЧ МГ

Фактор	Характер влияния
Факторы, влияющие на «функцию источника»	
1 Расположение места аварии относительно КС и линейных запорных кранов	Влияет на интенсивность и продолжительность истечения газа из концов разорвавшегося МГ
2 Давление в МГ (в месте разрыва) до аварии	Определяет интенсивность истечения газа, величину избыточного давления при расширении сжатого газа
3 Время от момента разгерметизации до перекрытия аварийной секции (время идентификации аварии + время остановки ГПА и закрытия линейных кранов)	Влияет на продолжительность аварийного истечения газа
4 Геометрия взаимного расположения концов разрушенного МГ в котловане или на поверхности земли	Влияет на особенности динамического взаимодействия струй истекающего из двух концов МГ газа, а следовательно, – на форму пламени при колонном пожаре или направлении независимых горящих струй при струевом горении
Факторы, влияющие на распространение опасных веществ и потоков энергии в окружающей среде	
5 Метеорологические факторы: скорость и направление ветра, класс стабильности атмосферы, влажность воздуха	Определяют различные варианты дисперсии газа, задают угол и направление наклона пламени; влажность воздуха определяет проницаемость атмосферы для тепловой радиации
6 Шероховатость поверхности вблизи места разрыва	Влияет на особенности рассеивания струи или шлейфа газа
7 Распределение по территории, прилегающей к МГ, других опасных объектов	Влияет на вероятность реализации каскадного развития аварии
8 Степень оперативности и грамотности действий персонала и аварийных спецслужб по локализации аварии и зон ее воздействия	Влияют на продолжительность аварии, ход ее развития и размеры зон негативных воздействий

Часть перечисленных факторов являются детерминированными, поскольку связаны с конкретными местными условиями, существующими на анализируемом ПОУ МГ. К ним относятся: расположение ПОУ относительно КС и линейных кранов, фактическое давление газа в ПОУ, шероховатость поверхности и т.п. Значения этих факторов для определения расчетного сценария задаются из массива фиксированных исходных данных, описывающих рассматриваемый ПОУ.

Остальные факторы являются случайными величинами, к ним относятся: угол и направление наклона пламени пожара, время перекрытия линейных кранов и т.п. Возможные комбинации именно этих факторов определяют многообразие сценариев аварий в составе той или иной группы.

Формирование набора расчетных сценариев для каждого ПОУ можно выполнять путем варьирования значений следующих факторов (см. таблицу 5.5).

Таблица 5.5 – Некоторые задающие факторы для формирования расчетных сценариев

Задающий фактор	На какую группу сценариев распространяется	Возможные значения фактора			
Срабатывание линейных кранов	C_1-C_4	Закрываются оба крана с пом. ААЗК на границах аварийной секции МГ через $T_{откл.} = 2$ мин	Закрывается один кран на границе аварийной секции МГ через $T_{откл.} = 2$ мин, ГПА не отключаются	Краны на границах аварийной секции не закрываются, ГПА не отключаются в течение $T_{откл.} > 2$ мин	-
Геометрия «Пожара в котловане» – $L_{ф}/D_{эф}$ *	C_1	2	4		
Скорость ветра, м/с	C_1, C_3	0	5	10	-
Направление ветра	C_1, C_3	С	В	Ю	3
Угол отклонения осей двух струй газа от проектного положения оси МГ в вертикальной плоскости, град	C_2, C_4	·	На 8 град. вверх (настильные струи)	На 15 град. вверх (наклонные струи)	
Угол отклонения осей двух струй газа от проектного положения оси МГ в горизонтальной плоскости, град	C_2, C_4	0	+15, -15 (т.е. в разные стороны от оси МГ)	+15,+15 обе струи в одну сторону от оси МГ	-15, -15, обе струи в одну сторону от оси МГ
Класс стабильности атмосферы по Паскуиллу	C_3, C_4	<i>A, B, C, D, E, F</i>			
Длина разрыва трубопровода	C_1-C_4	От 6 до 75 м в зависимости от диаметра МГ (см. таблицу 5.8)			
* $L_{ф}$ – длина пламени; $D_{эф}$ – эффективный диаметр пожара (очага горения); $T_{откл.}$ – время отключения кранов.					

Все вышеперечисленные задающие факторы опосредованно или напрямую влияют на конфигурацию и размеры зоны воздействия – термического, токсического, барического, механического (от осколков). Поэтому в конечном итоге каждый идентифицированный в ходе анализа риска МГ расчетный сценарий аварии будет отличаться от другого в общем случае конфигурацией и размерами зоны негативного воздействия доминирующего поражающего фактора этого сценария и, соответственно, ущербом.

5.5.5 При использовании стандарта можно определить число расчетных сценариев путем задания различных комбинаций значений всех или части факторов из таблицы 5.5.

Рекомендуемый минимальный набор расчетных сценариев приведен в таблице 5.6.

5.5.6 При дальнейшем анализе сформированный на данном этапе набор расчетных сценариев $\{C_{ij}\}$ следует рассматривать на каждом ПОУ трассы МГ, считая указанный набор полной группой несовместных событий при возникновении разрыва газопровода в каждой рассматриваемой точке ПОУ.

При этом, следует иметь в виду, что при выполнении основного, завершающего этапа КолАР, связанного с расчетом потенциального индивидуального, коллективного, социального рисков и ожидаемого годового ущерба, настоящим СТО рекомендуется учитывать поражающие эффекты только от сценариев групп C_1 и C_2 (т.е. сценариев с горением газа), поскольку зоны термического воздействия от пожара на МГ по своим масштабам значительно превосходят зоны осколочного, барического и асфиксионного воздействий, имеющих место при

Таблица 5.6 – Рекомендуемый минимальный набор расчетных сценариев

Группа сценариев	Краткая характеристика расчетного сценария в точке разрыва МГ
C ₁ «Пожар в котловане»	C ₁₁ : После разрыва МГ краны на границах аварийной секции не закрываются, ГПА не отключаются в течение $T_{откл} > 2$ мин, скорость ветра 0 м/с → Вертикальный горящий «цилиндр» с $L_{ф}/D_{эф} = 2$
	C ₁₂ : После разрыва МГ краны на границах аварийной секции не закрываются, ГПА не отключаются в течение $T_{откл} > 2$ мин, скорость ветра 10 м/с, направление ветра – перпендикулярно направлению оси МГ, вправо по ходу газа → Наклонный «правый» горящий «цилиндр» с $L_{ф}/D_{эф} = 2$
	C ₁₃ : После разрыва МГ краны на границах аварийной секции не закрываются, ГПА не отключаются в течение $T_{откл} > 2$ мин, скорость ветра 10 м/с, направление ветра – перпендикулярно направлению оси МГ, влево по ходу газа → Наклонный «левый» горящий «цилиндр» с $L_{ф}/D_{эф} = 2$
C ₂ «Струевые пламена»	C ₂₁ : После разрыва МГ краны на границах аварийной секции не закрываются, ГПА не отключаются в течение $T_{откл} > 2$ мин. Имеют место 2 настильные высокоскоростные свободные струи горящего газа, направленные в противоположных направлениях вдоль оси МГ с общей условной точкой истечения
C ₃ «Рассеивание низкоскоростного шлейфа газа»	C ₃₁ : После разрыва МГ краны на границах аварийной секции не закрываются, ГПА не отключаются в течение $T_{откл} > 2$ мин, скорость ветра 15 м/с, класс устойчивости – D → Рассеивающийся шлейф газа
C ₄ «Рассеивание двух струй газа»	C ₄₁ : После разрыва МГ краны на границах аварийной секции не закрываются, ГПА не отключаются в течение $T_{откл} > 2$ мин. Имеют место 2 настильные струи газа, направленные в противоположных направлениях вдоль оси МГ с общей условной точкой истечения с дальнейшим рассеиванием в атмосфере

реализации сценариев групп C_3 и C_4 . «Участие» сценариев групп C_3 и C_4 в расчетах вышеуказанных показателей риска, по существу, ограничивается только учетом условных вероятностей их реализации для определения (путем вычитания из 1) условных вероятностей реализации основных, «рискогенных», сценариев из групп C_1 и C_2 в полной группе несовместных событий.

В силу соответствующих требований нормативных документов Ростехнадзора к содержанию процедуры анализа риска при разработке ДПБ, на промежуточных этапах КолАР для характерных сценариев аварий (из числа всех расчетных сценариев), но, прежде всего, для наиболее вероятных и максимальных по масштабам ущерба сценариев, необходимо рассчитывать размеры зон воздействия различных поражающих факторов, количество пострадавших и ущерб имуществу.

5.5.7 Состав расчетных сценариев аварий на подводных переходах МГ через естественные и искусственные водные преграды зависит от конструкции и технологии строительства дюкера, а также от глубины водоема в месте возникновения разрыва МГ.

При этом в любом случае среди возможных поражающих факторов аварии на подводном переходе при проведении КолАР учитываются только те поражающие факторы, которые определены в 5.5.3 для аварий на сухопутных участках. Следующие возможные поражающие факторы аварии на подводном переходе: волна сжатия в воде, высокоскоростная газоводная струя в воде или при выходе на поверхность воды, гравитационная волна на поверхности воды, бурен в зоне выхода газа на поверхность не учитываются из-за ограниченных масштабов их действия по сравнению с факторами, указанными в 5.5.3.

5.5.7.1 Для подводных переходов, выполненных традиционным методом прокладки трубы в траншее по дну водоема, при рассмотрении аварий на береговых участках, а также пойменных или подводных участках в русловой части с глубиной воды не более 5 м состав расчетных сценариев аварии совпадает с составом расчетных сценариев для сухопутных участков МГ в рамках групп C_1 , C_2 , C_3 , C_4 .

5.5.7.2 Для подводных переходов, выполненных традиционным методом прокладки трубы в траншее по дну водоема, при рассмотрении аварий на подводных участках с глубиной воды более 5 м состав расчетных сценариев аварии ограничивается сценариями из групп C_1 («Пожар колонного типа») и C_3 («Рассеивание низкоскоростного шлейфа газа»). При этом, из состава возможных поражающих факторов аварии исключаются разлет осколков и воздушная волна сжатия.

5.5.7.3 Для подводных переходов, выполненных методом горизонтально-направленного бурения с конструкцией «труба в трубе», состав расчетных сценариев аварии ограничивает-

ся сценариями из групп C_2 («Струевое пламя») и C_3 («Рассеивание струи газа»). При этом, независимо от места разрыва трубы в пределах перехода, принимается, что выход газа в атмосферу имеет место только из концов кожуха в виде одной настильной струи на каждом берегу при одинаковых интенсивностях истечения газа из обоих концов кожуха.

5.6 Оценка условных вероятностей реализации расчетных сценариев аварий на магистральных газопроводах

5.6.1 На данном этапе КолАР (этап 3.3 в блок-схеме на рисунке 5.1) следует определить для каждого ПОУ условные вероятности реализации каждого расчетного сценария C_{ij} (при условии, что произошел разрыв МГ-событие A) из сформированного на предыдущем этапе набора $\{C_{ij}\}$, образующего полную группу несовместных событий, с учетом имеющихся на данном ПОУ условий и факторов, влияющих на возможность реализации того или иного расчетного сценария C_{ij} .

5.6.2 Расчет условных вероятностей реализации расчетных сценариев C_{ij} аварии следует выполнять по следующим формулам:

- для сценариев из групп C_1, C_2 (с возгоранием газа)

$$P(C_{ij}|A) = P(B|A) \cdot P(C_i|AB) \cdot P(C_{ij}|ABC_i), i = 1, 2, \quad (5.2)$$

- для сценариев из групп C_3, C_4 (без возгорания газа)

$$P(C_{ij}|A) = P(\bar{B}|A) \cdot P(C_i|A\bar{B}) \cdot P(C_{ij}|A\bar{B}C_i), i = 3, 4, \quad (5.3)$$

где A – событие, состоящее в возникновении аварии (разрыва МГ);

B – событие, состоящее в возгорании истекающего газа сразу после разрыва МГ;

\bar{B} – событие, состоящее в отсутствии возгорания истекающего газа после разрыва МГ;

C_i – событие, состоящее в реализации хотя бы одного из сценариев группы C_i ;

C_{ij} – событие, состоящее в реализации конкретного j -го сценария группы C_i ;

$P(B|A), P(\bar{B}|A)$ – условные вероятности, соответственно, возгорания и отсутствия возгорания газа при условии, что произошел разрыв МГ;

$P(C_i|AB), P(C_i|A\bar{B})$ – условные вероятности реализации хотя бы одного из сценариев группы C_i при условии, что произошло (не произошло) возгорание истекающего из разрыва МГ газа;

$P(C_{ij}|ABC_i), P(C_{ij}|A\bar{B}C_i)$ – условные вероятности реализации конкретного сценария C_{ij} при условии реализации группы C_i при аварии с возгоранием и при аварии без возгорания, соответственно.

При определении условных вероятностей рекомендуется строить дерево событий. На рисунке 5.2 показан пример упрощенного дерева событий с нанесенными значениями услов-

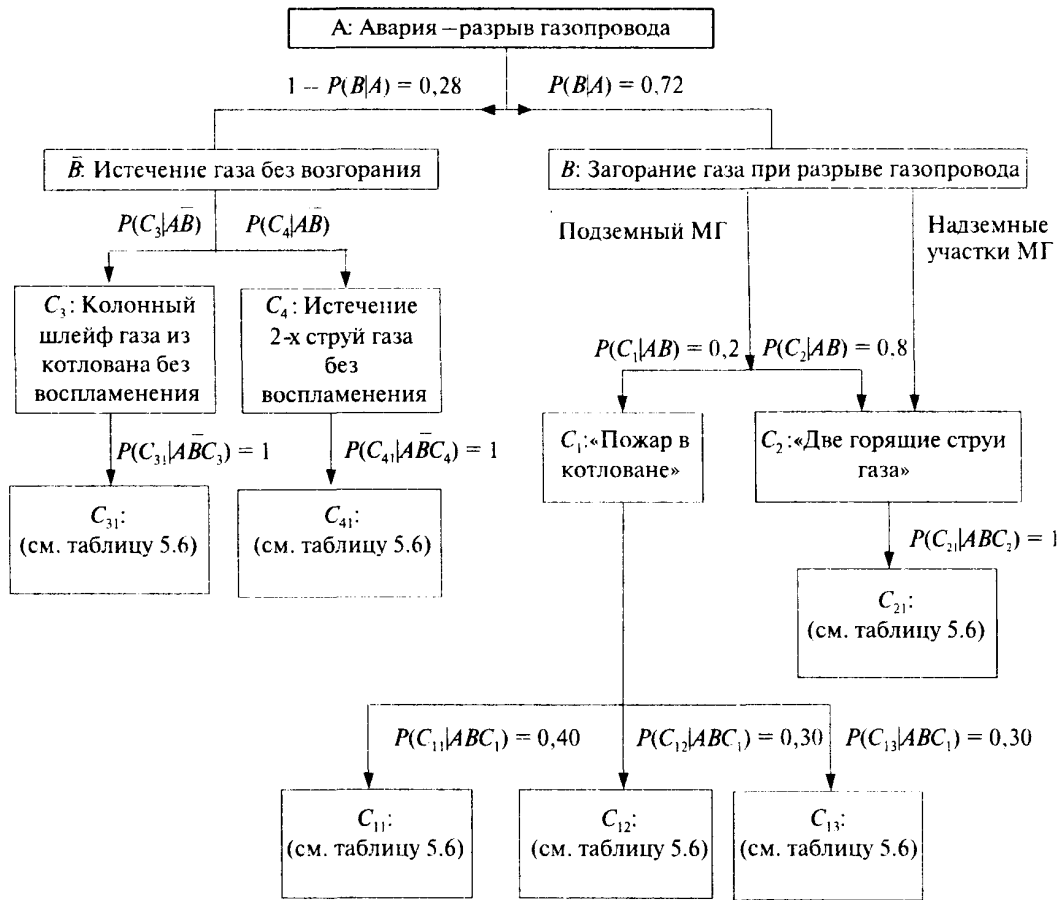


Рисунок 5.2 – Упрощенное дерево событий для идентификации сценариев аварий на МГ

ных вероятностей промежуточных событий применительно к авариям на МГ с условным диаметром 1400 мм. События, относящиеся к каждому узлу ветвления дерева, образуют полную группу событий с суммой условных вероятностей, равной 1.

5.6.3 Для определения условных вероятностей $P(B|A)$, $P(\bar{B}|A)$ загорания/незагорания газа рекомендуется использовать статистические данные по относительным частотам загорания/незагорания газа при разрыве МГ, зависящим, как правило, от условного диаметра МГ. В графах 2 и 3 таблицы 5.7 приведены рекомендуемые базовые значения статистических условных вероятностей загорания/незагорания газа.

Здесь $P(...|...)$ – условные вероятности реализации событий, указанных в блоках дерева (значения вероятностей приведены для МГ с Ду 1400 мм).

Указанные базовые значения вероятностей $P(B|A)$ и $P(\bar{B}|A)$ загорания/незагорания газа рекомендуется корректировать с помощью коэффициента $k_{заг}$, зависящего от имеющего место на данном ПОУ конкретного типа грунта, количества каменистых включений в нем, способных при соударении в потоке газа воспламенить газ

Таблица 5.7 – Вероятностные характеристики аварий на МГ

Д _у , мм	Условная вероятность $P(B A)$ загорания газа	Условная вероятность $P(\bar{B} A)$ незагорания газа	Условные вероятности реализации групп C_1, C_2, C_3, C_4 сценариев аварий			
			C_1 – «Пожар в котловане» («Пожар колонного типа») $P(C_1 AB)$	C_2 – «Струевые пламена» $P(C_2 AB)$	C_3 – «Рассевание низкоскоростного шлейфа газа» $P(C_3 AB)$	C_4 – «Рассевание 2-х струй газа» $P(C_4 AB)$
1	2	3	4	5	6	7
1 400	0,72	0,28	0,2	0,8	0,2	0,8
1 200	0,74	0,26	0,3	0,7	0,3	0,7
1 000	0,6	0,4	0,4	0,6	0,4	0,6
700	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
500	0,3	0,7	0,7	0,3	0,7	0,3
300 и менее	0,1	0,9	0,95	0,05	0,95	0,05

$$P'(B|A) = k_{\text{заг}} \cdot P(B|A), \quad (5.4)$$

$$P'(\bar{B}|A) = 1 - k_{\text{заг}} \cdot P(B|A), \quad (5.5)$$

где $k_{\text{заг}} = 1,3$ – для грунтов с каменистыми включениями;

$k_{\text{заг}} = 1,2$ – для глин;

$k_{\text{заг}} = 1,0$ – для суглинков;

$k_{\text{заг}} = 0,7$ – для торфяников, льдистых структур, песков.

В таблице 5.7 (в графах 4, 5, 6, 7) также приведены полученные экспертным путем рекомендуемые базовые значения условных вероятностей реализации групп сценариев C_1, C_2, C_3, C_4 для МГ разных диаметров. Указанные базовые значения корректируются с помощью коэффициента $k_{\text{гр}}$, зависящего от имеющей место на данном ПОУ степени связности или несущей способности грунта, и определяются по формулам

$$P'(C_1|AB) = k_{\text{гр}} \cdot P(C_1|AB), \quad (5.6)$$

$$P'(C_2|AB) = 1 - k_{\text{гр}} \cdot P(C_1|AB), \quad (5.7)$$

$$P'(C_3|A\bar{B}) = k_{\text{гр}} \cdot P(C_3|A\bar{B}), \quad (5.8)$$

$$P'(C_4|A\bar{B}) = 1 - k_{\text{гр}} \cdot P(C_3|A\bar{B}), \quad (5.9)$$

где $k_{\text{гр}} = 1,3$ – для грунтов с высокой связностью (глины, скальные грунты). Если при домножении на $k_{\text{гр}}$ значение $P'(C_1|AB)$ или $P'(C_3|A\bar{B})$ превышает 1, то оно принимается равным 1;

$k_{гп} = 1,0$ – для грунтов со средней связностью (суглинки):

$k_{гп} = 0,7$ – для грунтов с низкой связностью (торфяники).

Условные вероятности $P(C_{ij}|ABC_1)$, $P(C_{ij}|A\bar{B}C_1)$ реализации конкретных расчетных сценариев внутри каждой группы рекомендуется определять с помощью статистических данных по относительной частоте реализации различных возможных значений задающих факторов (например, из числа перечисленных в таблице 5.5), участвующих в формировании набора сценариев. Например, условная вероятность $P(C_{12}|ABC_1)$ реализации сценария C_{12} (см. таблицу 5.6) при условии, что реализовался пожар в котловане (C_1), определяется как повторяемость скорости ветра в требуемом диапазоне скоростей (например, 8–12 м/с) с указанным направлением, получаемая из метеоданных (см. 6.6.5.2).

Пример расчета условной вероятности реализации сценария C_{12} (по рисунку 5.2)

$$P(C_{12}|A) = P(B|A) \cdot P(C_1|AB) \cdot P(C_{12}|ABC_1) = 0,72 \cdot 0,2 \cdot 0,3 = 0,0432. \quad (5.10)$$

5.6.4 Абсолютная частота f_n (сцен./год) реализации расчетного сценария C_{ij} на n -ом участке МГ длиной L_n (км) определяется по формуле

$$f_n = \lambda_n \cdot L_n \cdot P(C_{ij}|A), \quad (5.11)$$

где λ_n – ожидаемая удельная частота аварий на n -ом участке, аварий/(км · год);

$P(C_{ij}|A)$ – условная вероятность реализации сценария C_{ij} при условии, что на n -ом участке МГ произошел разрыв трубы с выбросом газа.

5.6.5 Применительно к подводным переходам МГ общий алгоритм расчета условных вероятностей реализации расчетных сценариев аварии соответствует изложенному в 5.6.1–5.6.4, однако имеются особенности определения условной вероятности загорания газа $P(B|A)$, которая зависит от конструкции и технологии выполнения люкера, а также от глубины водоема в месте возникновения разрыва МГ.

5.6.5.1 Для подводных переходов, выполненных традиционным методом прокладки трубы в траншее по дну водоема, при рассмотрении аварий на береговых, в т.ч. пойменных участках, а также на подводных участках в русловой части водоема на глубинах менее 5 м вероятность загорания газа $P(B|A)$ определяется в полном соответствии с 5.6.3.

5.6.5.2 Для подводных переходов, выполненных традиционным методом прокладки трубы в траншее по дну водоема, при рассмотрении аварий на подводных участках в русловой части водоема на глубинах больше 5 м вероятность загорания газа определяется вероятностью $P_{внш}$ загорания только от внешних источников зажигания (источников искрообразования и открытого огня на судах, лодках и т.) и вычисляется по формуле

$$P(B|A) = P_{\text{внш}} = \sum_{i=1}^I (P_{\text{пзз}}^{(i)} \cdot P_{\text{срб}}^{(i)}), \quad (5.12)$$

где $P_{\text{пзз}}^{(i)}$ – вероятность наличия (попадания) i -го внешнего источника зажигания в зоне(у) загазованности, ограниченную изолинией концентрации, соответствующей НКПВ метана (5 % об.);

$P_{\text{срб}}^{(i)}$ – вероятность «срабатывания» i -го внешнего источника зажигания;

I – количество потенциальных источников зажигания.

Вероятности $P_{\text{пзз}}^{(i)}$ в основном определяются интенсивностью и маршрутами движения судов в районе подводного перехода и размерами зоны загазованности.

5.6.5.3 Для подводных переходов, выполненных методом горизонтально-направленного бурения с конструкцией «труба в трубе», вероятность $P(B|A)$ загорания газа, истекающего в атмосферу в виде высокоскоростных струй из концов кожуха, определяется в соответствии с 5.6.3, как для сухопутного участка газопровода.

5.7 Расчет интенсивности, общих количеств и продолжительности выбросов природного газа при разрывах магистральных газопроводов

5.7.1 На данном этапе КолАР (этап 3.4 в блок-схеме на рисунке 5.1) необходимо определить для каждого расчетного сценария C_{ij} аварии:

- зависимости интенсивностей истечения газа в окружающую среду от времени из обоих концов разрушенного газопровода;
- продолжительность истечения и объем (массу) выброшенного газа;
- количество газа, участвующего в аварии;
- количество газа, участвующего в создании поражающих факторов аварии.

Примечание – Необходимость расчета двух последних параметров определена требованием пункта 30.2 Порядка [2].

В 5.7.2–5.7.4 приведены основные предпосылки для определения указанных параметров, в 5.7.5 – общая последовательность выполнения данного этапа.

5.7.2 Расчет интенсивности $G(t)$ нестационарного истечения газа при разрыве МГ следует выполнять, рассматривая отдельно аварийные потоки газа с интенсивностями $G_1(t)$ и $G_2(t)$ из двух концов разрушенного газопровода, разделенного разрывом на два аварийных участка: верхний и нижний (относительно точки разрыва МГ по доаварийному потоку газа: верхний – от нагнетающей КС до точки разрыва, нижний – от точки разрыва до принимающей КС).

При этом, в качестве основных, влияющих на интенсивность истечения, параметров следует учитывать: внутренний диаметр МГ, фактическое доаварийное давление газа в МГ в

точке разрыва, местоположение точки разрыва и время, требуемое для закрытия линейных кранов, предназначенных для отсечения аварийных участков МГ либо автоматически (минимальное время отсечения), либо с помощью средств дистанционного управления (время отсечения зависит от алгоритма идентификации факта аварии и реакции диспетчера), либо с участием персонала ЛЭС вручную по месту расположения кранов (время отсечения в основном определяется временем доставки персонала к площадкам крановых узлов транспортным средством).

5.7.3 При расчете объема выброшенного при разрыве МГ газа $V_{газ}$ дополнительно к перечисленным выше параметрам следует учитывать продолжительность идентификации факта аварии на диспетчерских пунктах КС вверх и вниз по потоку и конкретную технологическую схему обвязки параллельных ниток многониточного МГ.

5.7.4 При определении количества природного газа, участвующего в аварии, $M_{ав}$, должна учитываться вся масса газа, заключенная между сечениями МГ, которых достигла волна разгрузки по давлению, распространяющаяся от точки разрыва. Даже при штатном срабатывании автоматики или штатном реагировании диспетчеров время перекрытия аварийной секции не может быть меньше 2–5 минут. За это время практически весь газ, находящийся на перегоне между КС, по крайней мере, за счет газодинамических эффектов, будет определять интенсивность истечения в месте разрыва и, следовательно, участвовать в аварии (за счет наличия обратных клапанов и другой запорной арматуры на принимающей КС практически исключено участие в аварии газа, находящегося в системе газопроводов ниже (по потоку) от указанной КС). Дополнительно необходимо учитывать как участвующую в аварии часть газа, находящуюся в системе МГ выше нагнетающей КС. При этом масса этого газа будет определяться не только временем перекрытия охранных кранов КС, но и величиной падения давления на нагнетающей КС в результате аварии, вариантами обвязки узлов подключения КС, алгоритмами срабатывания предохранительных систем на ГПА и рядом других технологических особенностей КС.

5.7.5 Количество природного газа, участвующее в создании поражающих факторов аварии $M_{пф}$, зависит от вида поражающего фактора.

5.7.5.1 Количество природного газа, участвующее в формировании зон действия воздушной волны сжатия $M_{пф-ввс}$ и осколочного воздействия $M_{пф-оск}$, определяется массой газа, заключенной в пределах длины разрушенного участка МГ (см. таблицу 5.8, где приведены рекомендуемые расчетные значения длины разрывов МГ разных диаметров).

5.7.5.2 Количество газа, участвующее в создании тепловой радиации пожара $M_{пф-т}$, в каждый данный момент времени определяется массой горящего газа. При практических применениях КолАР (например, при разработке ДПБ) в качестве $M_{пф-т}$ рекомендуется указывать

не фиксированную массу газа, выброшенную из МГ за все время горения, а суммарную (из двух концов разрушенного МГ) интенсивность аварийного истечения горящего газа $G(t)$ на характерный момент времени истечения согласно 5.8.6.6 и данным таблицы 5.9. Указанный подход обусловлен тем фактом, что тепловыделение пожара, определяющее размеры зон термического воздействия, пропорционально интенсивности истечения газа, убывающей со временем. При этом для потенциальных реципиентов наиболее критичны значения $G(t)$ в течение первых минут после разрыва, поскольку наиболее интенсивное и дальнобойное поражающее тепловое воздействие происходит именно на этом временном отрезке.

5.7.6 Последовательность выполнения данного этапа КолАР:

а) определяются в пределах рассматриваемого n -го ПОУ точки $x_n^{(m)}$ ($m = 1, 2, \dots, M$) – середины элементарных отрезков (см. 5.12), в которых будет моделироваться разрыв газопровода:

б) определяются для каждой точки $x_n^{(m)}$:

- расстояние L_1 от нагнетающей КС;

- фактическое давление P_0 до аварии в предположении, что на выходе нагнетающей КС давление проектное;

- расстояния x_1 и x_2 до ближайших линейных кранов L_1 и L_2 , расположенных соответственно вверх и вниз по потоку от места разрыва;

в) задаются значения времени $t_{21}, t_{19}, t_{11}, t_{12}$ от момента разрыва МГ до моментов закрытия соответственно охранного крана № 21 на выходе нагнетающей КС, охранного крана № 19 на входе принимающей КС, ближайших к $x_n^{(m)}$ линейных кранов L_1 и L_2 (в соответствии с описанием расчетных сценариев C_{ij});

г) с использованием приложения Г выбираются модели расчета интенсивности аварийного истечения и объемов выброса газа с учетом цели КолАР и связанной с ней требуемой точности расчетов;

д) с использованием выбранной модели истечения рассчитываются зависимости интенсивностей истечения (массовых расходов) от времени из обоих концов разрушенного трубопровода в отдельности $G_1(t)$, $G_2(t)$ и суммарный расход $G(t)$, объем $V_{\text{газ}}$ выброшенного газа и продолжительность $t_{\text{ист}}$ истечения для выбранных выше значений $t_{21}, t_{19}, t_{11}, t_{12}$ (т.е. для различных сценариев C_{ij});

е) определяется количество газа $M_{\text{ав}}$, участвующее в аварии на МГ;

ж) определяются количества газа $M_{\text{пф-ввс}}$ и $M_{\text{пф-оск}}$, участвующие в создании барического и осколочного поражающих факторов аварии с учетом длины разрыва МГ;

з) оценивается влияние исходных данных на результаты расчета $G_1(t)$, $G_2(t)$, $G(t)$, $V_{\text{газ}}$,

$M_{\text{ав}}$, $M_{\text{пф}}$.

Результатом выполнения данного этапа КолАР должны быть массивы значений $G_1(t)$, $G_2(t)$, $G(t)$, $V_{\text{газ}}$, $M_{\text{ав}}$, $M_{\text{пф}}$ для каждой точки $x_n^{(m)}$ в пределах каждого n -го ПОУ.

5.7.7 При рассмотрении в рамках проведения КолАР аварийных разрывов МГ на ПОУ, включающих подземные переходы газопровода через автомобильные или железные дороги, расчет интенсивности истечения и объема выброшенного газа рекомендуется (для получения консервативной оценки указанных параметров) проводить без учета конкретной конструкции перехода (которая может включать защитный кожух, бетонные плиты и т.п.), полагая, что место разрыва находится на границе перехода, где газопровод не заключен в кожух. В случае постановки заказчиком КолАР конкретной задачи оценки указанных параметров с учетом реальной конструкции перехода следует применять специализированные программы расчета.

5.7.8 При рассмотрении аварий на подводных переходах МГ, выполненных традиционным методом прокладки трубы в траншею по дну водоема, расчет интенсивности истечения и объемов выброшенного газа выполняется в порядке, изложенном выше для сухопутных участков, т.е. допускается пренебречь влиянием изменения гидростатического давления в месте разрыва МГ в русловой части перехода.

При рассмотрении аварий на подводных переходах МГ, выполненных методом горизонтально-направленного бурения с конструкцией «труба в трубе», влияние внешнего кожуха на истечение газа (с точки зрения гидравлического сопротивления) при разрыве газопровода допускается не учитывать. Расчет интенсивности истечения и объема выброшенного газа выполняется в порядке, изложенном выше для сухопутных участков.

5.8 Расчет распространения поражающих факторов аварий на магистральных газопроводах

5.8.1 На данном этапе КолАР (этап 3.5 в блок-схеме на рисунке 5.1) следует определить для каждого расчетного сценария C_{ij} аварии территориальные распределения основных физических характеристик $U(x,y)$ следующих поражающих факторов аварии на МГ:

- осколков разрушенного МГ;
- воздушной волны сжатия;
- загазованности;
- тепловой радиации от пожара (в т.ч. прямого воздействия пламени)

с последующей оценкой размеров зон негативного воздействия этих поражающих факторов.

Следует иметь в виду, что расчет зон негативного воздействия первых трех из перечисленных выше поражающих факторов проводится на данном этапе исключительно в силу требований нормативных документов Ростехнадзора [2] о необходимости при анализе риска в рамках разработки ДПБ рассчитывать размеры зон воздействия, количество пострадавших и ущерб для всех возможных поражающих факторов наиболее вероятного и максимального по

масштабам аварийных сценариев. Однако на основном этапе КолАР, т.е. при расчете потенциального, индивидуального, коллективного, социального рисков и ожидаемого годового ущерба, рекомендуется учитывать только термические эффекты от пожара (струевых пламен и пожара колонного типа), как значительно преобладающие по поражающему воздействию над тремя другими указанными факторами.

5.8.2 При расчете пространственных распределений характеристик разлета осколков и воздушной волны сжатия необходимым элементом исходных данных является характерная протяженность (длина) разрыва газопровода.

Процесс разрушения МГ включает три стадии: зарождение разрушения («проращение» дефекта на всю толщину стенки трубы); быстротечное распространение сквозной трещины по телу трубы; торможение и остановка разрушения (трещины). Необходимым условием для начала процесса лавинообразного протяженного разрыва стенки трубопровода при проектном давлении (когда напряжения в теле трубы должны быть заведомо ниже предела текучести используемой стали) является наличие критического сквозного дефекта (трещины), длина которого составляет 20...25 % от диаметра трубы. В случае отсутствия начального дефекта разрушение трубопровода при рабочем давлении может произойти лишь при явлениях катастрофического ухудшения свойств металла трубы на площади, сравнимой с площадью поперечного сечения трубы.

Основным параметром, определяющим развитие магистральных трещин, является ударная вязкость металла трубы. С повышением ударной вязкости механизм развития трещин переходит от хрупкого к вязкому, уменьшаются скорость движения вершины трещины и длина разрыва.

Согласно [12, 13] распределение числа аварийных разрывов по их размеру для газопроводов одинакового диаметра и материала при обычном диапазоне изменения давлений и толщин стенок трубы подчиняется закону

$$\frac{n(> L_{\text{разр}})}{n_0} = \exp\left[-\frac{L_{\text{разр}}}{\langle L_{\text{разр}} \rangle}\right], \quad (5.13)$$

где $n(> L_{\text{разр}})$ – число разрывов, длина которых больше $L_{\text{разр}}$;

n_0 – число рассматриваемых аварий;

$\langle L_{\text{разр}} \rangle$ – математическое ожидание длины разрыва.

Как показал статистический анализ [14, 15, 16], экспериментальное распределение числа разрывов по их длине для газопроводов с диаметрами от 159 до 1420 мм, давлением – от 0,8 до 7,5 МПа, толщинами стенок трубы – от 6 до 18,7 мм не противоречит теоретическому с вероятностью 0,93.

К использованию для дальнейших расчетов осколочного и фугасного поражающих факторов рекомендуются следующие характерные значения длин разрывов МГ, полученные по результатам анализа статистических данных об авариях на МГ за период 1991–2006 гг. (см. таблицу 5.8) в предположении, что в 90 % аварийных разрывов МГ данного диаметра длина разрыва не превысит указанное значение.

Таблица 5.8 – Рекомендуемые для использования характерные значения длин разрывов ($L_{\text{разр}}$) для МГ разных диаметров (D_y)

D_y , мм	1400	1200	1000	800	700	500	400	300	200	150
$L_{\text{разр}}$, м	50	70	54	25	39	16	13	10	6,6	5

5.8.3 Разлет осколков трубы при разрыве МГ

5.8.3.1 При разрыве подземного МГ количество образующихся осколков трубы, их форма и направление полета являются величинами случайными. В рамках проведения КолАР МГ принято, что направления движения осколков равновероятны, рассеивание осколков по площади зависит только от расстояния от места разрыва МГ, а зона соответствующего негативного воздействия на поверхности земли имеет форму круга.

5.8.3.2 Размеры зоны осколочного воздействия (зоны разлета осколков) определяются максимальной дальностью r_{max} полета осколков, зависящей от начальных скоростей, сообщаемых фрагментам трубы при разрыве МГ. Оценки размеров зон проводятся либо на основе статистических данных, либо путем расчета максимальных значений r_{max} радиуса разлета осколков массой $m_{\text{оск}}$.

5.8.3.3 Согласно статистическим данным разрушения МГ сопровождались в большинстве случаев образованием относительно небольшого числа фрагментов труб (в пределах от 1 до 15 единиц). Из 271 аварии с разлетом осколков (за период 1991–2000 гг.) в 59 % случаев дальность разлета составила до 50 м, в 13 % – от 51 до 100 м, в 12 % – от 101 до 150 м, в 8 % – от 151 до 200 м, в 6 % – от 201 до 300 м [13]. Среднее значение и максимальная дальность разлета осколков трубы значительно зависят от характера разрушения оболочки трубы (вязкого или хрупкого). При авариях на МГ, построенных с использованием высоковязких сталей, часто происходит не разрыв на куски, а верхняя развальцовка труб с образованием 2–3 фрагментов трубопровода как с выбросом их из траншеи, так, зачастую, и без выброса фрагментов из траншеи. При вязком разрушении МГ диаметром 1400 мм среднее значение дальности разлета составляет 106,5 м, а максимальное – 180 м, при хрупком – соответственно 171,3 м и 700 м. При этом в случаях хрупкого разрушения массы фрагментов были существенно меньше, чем при вязком разрушении.

5.8.3.4 При необходимости могут быть выполнены расчеты дальности разлета осколков трубы. При этом применяемые методы расчета должны базироваться на предположении, что часть потенциальной энергии сжатого газа расходуется на фрагментацию оболочки трубы и слоя грунта и приобретение ими начальной скорости. В дальнейшем рассчитывается динамика движения этих фрагментов в воздухе и определяются размеры зон (на поверхности земли) их разлета.

Последовательность расчета размеров зон разлета осколков трубы при разрыве МГ следующая:

- а) определить для каждой точки $x_n^{(m)}$ (см. 5.7) рассматриваемого n -го ПОУ:
 - расстояние L_1 от нагнетающей КС;
 - фактическое давление P_0 до аварии в предположении, что на выходе принимающей КС давление проектное;
- б) задать длину разрыва $L_{\text{разр}}$ (м) МГ с использованием рекомендаций 5.8.2;
- в) задать общее количество $n_{\text{оск}}$ образующихся при разрушении МГ одинаковых осколков (рекомендуемое значение $n_{\text{оск}} = 3 \div 5$) и рассчитать их размеры по формулам

$$l_1 = b_{\text{тр}}, \quad (5.14)$$

$$l_2 = \pi \cdot D, \quad (5.15)$$

$$l_3 = \frac{L_{\text{разр}}}{n_{\text{оск}}}, \quad (5.16)$$

где $b_{\text{тр}}$, D – толщина стенки и внешний диаметр трубы МГ, соответственно, м;

$L_{\text{разр}}$ – длина разрыва трубы МГ;

- г) рассчитать массу $m_{\text{оск}}$ (кг) осколков с рассчитанными выше размерами;
- д) в окрестностях каждой точки $x_n^{(m)}$ рассчитать максимальные дальности разлета осколков трубы массой $m_{\text{оск}}$ и размерами $l_1 \times l_2 \times l_3$ с помощью методики, изложенной в подразделе Ж.1 приложения Ж. Результатами расчета должны быть массивы значений – радиусы круговых зон разлета осколков трубы с массами $m_{\text{оск}}$ на поверхности земли в окрестностях каждой точки $x_n^{(m)}$ в пределах каждого n -го ПОУ.

5.8.4 Воздушная волна сжатия при разрыве МГ

5.8.4.1 Воздушная волна сжатия (ВВС) возникает при разрыве МГ как следствие расширения транспортируемого под высоким давлением природного газа. Далее с определенной задержкой может произойти воспламенение газа – уже вне полости трубопровода при смешении газа с воздухом до определенных концентраций (5–15 % об.) и одновременном появлении источника зажигания с необходимым энергетическим потенциалом. Возникающие при

этом барические эффекты настолько незначительны по сравнению с негативными эффектами от расширения сжатого газа и тепловым воздействием пожара, что ими можно пренебречь.

5.8.4.2 Нелинейные волновые процессы в грунте (как упругом теле), возникающие при разрушении газопровода, затухают на расстояниях в несколько метров и не оказывают негативного воздействия на параллельно уложенные нитки МГ [17].

5.8.4.3 Последовательность расчета распределения избыточного давления ВВС в окружающей среде при разрыве МГ:

- а) определяются для каждой точки $x_n^{(m)}$ (см. 5.7) рассматриваемого n -го ПОУ:
 - расстояние L_1 от нагнетающей КС;
 - фактическое давление P_0 до аварии в предположении, что на выходе принимающей КС давление равно проектному $P_{\text{раб}}$;
- б) задается длина разрыва $L_{\text{разр}}$ МГ с использованием рекомендаций 5.8.2;
- в) в окрестностях каждой точки $x_n^{(m)}$ рассчитываются распределение избыточного давления ВВС $\Delta P_{\text{ф}}$ и импульса I с помощью методики, изложенной в Ж.3 (приложение Ж).

Результатами расчета должны быть массивы значений $\Delta P_{\text{ф}}(x, y)$ и импульса $I(x, y)$, отражающие территориальные распределения избыточного давления и импульса ВВС вокруг каждой точки разрыва $x_n^{(m)}$.

5.8.5 Зоны загазованности при авариях на МГ

5.8.5.1 Если в момент разгерметизации МГ газ не воспламеняется (сценарии групп C_3 , C_4), возникает необходимость анализа процессов его рассеяния (дисперсии) в атмосфере для определения размеров зон загазованности.

Размеры зоны загазованности (с учетом того, что метан не обладает выраженным токсическим действием) рекомендуется определять по двум концентрационным пределам метана:

- 30 % об. – определяет границу зоны асфиксионной опасности, в пределах которой в результате снижения концентрации кислорода в воздухе нарушаются обменные процессы в организме человека и животных и происходит удушье;
- 5 % об. (НКПВ) – определяет границу зоны потенциального термического воздействия на реципиентов в случае так называемого «позднего поджигания» облака ГВС.

Зона асфиксионного воздействия намного меньше указанной зоны потенциального теплового воздействия и полностью поглощается последней.

5.8.5.2 При расчете указанных зон следует иметь в виду, что сценарий сгорания облака ГВС в результате «позднего поджигания» не входит в число расчетных сценариев аварий на МГ в рамках данного стандарта, поскольку предполагается, что в конечном итоге по своим последствиям, связанным с воздействием основного поражающего фактора – тепловой ради-

ации, он сводится к сценариям групп C_1 или C_2 . Т.е. принято в рамках КоляАР, что сценарий задержанного воспламенения облака ГВС замещается сценариями групп C_1 или C_2 .

Тем не менее, расчет размеров зон загазованности (как по НКПВ, так и по порогу асфиксии) рекомендуется выполнять по причинам, изложенным в 5.8.1.

5.8.5.3 При расчете дисперсии газа в атмосфере рекомендуется рассматривать два предельных режима формирования опасных зон загазованности, соответствующих группам сценариев C_3 и C_4 (см. 5.5):

а) в виде двух невзаимодействующих наклонных или настильных струй (группа сценариев C_4);

б) в виде восходящего вверх интегрального течения (низкоскоростного колонного шлейфа) из грунтового котлована (группа сценариев C_3) (см. рисунок 5.3).

Примечание – При этом должно учитываться следующее. В ближней к источнику области выбрасываемый газ рассеивается по законам струйного (эжекционного) смешения с воздухом. На определенном расстоянии от источника средняя осевая скорость струи становится соизмеримой со скоростью сносимого воздушного потока, и начинает доминировать диффузионный механизм рассеяния, определяемый турбулентными параметрами атмосферы. Эжекционные механизмы распространения струи в атмосфере приводят к существенному разбавлению природного газа (ниже НКПВ) непосредственно в пределах струи. По этой причине природный газ не может накапливаться вне пределов струи и создавать дополнительные объемы пожароопасных концентраций. На размерах струи значительно сказывается скорость ветра, влияющая на смешение газа с воздухом (см. рисунок 5.4). Так, скорость ветра 3 м/с приводит почти к двухкратному уменьшению длины струи, скорость ветра 6 м/с – к трехкратному.

5.8.5.4 Оценка размеров зон возможных пожаровзрывоопасных концентраций газа при струевом выбросе (группа сценариев C_4) проводится исходя из консервативных соображений (размеры струй рассчитываются при нулевой скорости ветра).

Последовательность расчета зоны загазованности от 2-х струй при разрыве МГ:

а) определяются для каждой точки $x_n^{(m)}$ исследуемого n -го ПОУ на трассе МГ, рассматриваемой в качестве источника аварийного истечения газа (см. 5.7):

- расстояние L_1 от нагнетающей КС;

- фактическое давление P_0 до аварии в предположении, что на выходе нагнетающей КС давление равно проектному $P_{раб}$;

б) с помощью методики, изложенной в подразделе Е.1 приложения Е, в окрестностях каждой точки $x_n^{(m)}$ ассчитываются распределения концентрации (C) и скорости (u) газа в струевых потоках.

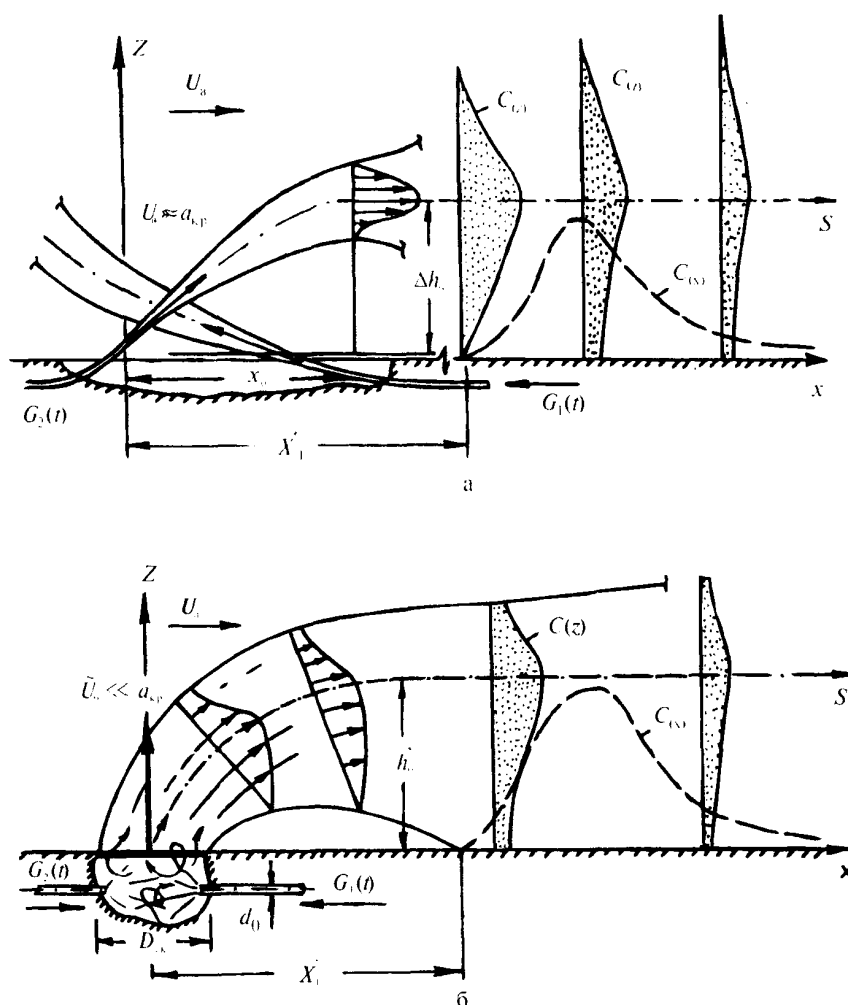


Рисунок 5.3 – Варианты выброса газа при разрушении МГ без возгорания:

- а) выброс в виде 2-х независимых струй из концов разрушенного трубопровода; б) выброс в виде интегрального шлейфа из образовавшегося «котлована»

5.8.5.5 Расчет более сложного процесса распространения низкоскоростного интегрального турбулентного шлейфа газа из котлована в условиях действия сносящего ветрового потока (группа сценариев C_3) должен проводиться по специализированным программам, реализующим решение системы дифференциальных уравнений в частных производных, отражающих в консервативной форме законы сохранения массы, импульса и энергии и описывающих течение газа (в параметрах скорости, плотности, температуры) при различных состояниях атмосферы и скоростях ветра [18, 19].

Примечание – Как показывают расчеты по модели [19], вследствие резкого убывания интенсивности выброса газа уже в течение первых нескольких минут после разрыва зона загазованности, достигнув своих максимальных размеров, сжимается к источнику. При малых скоростях ветра (до 10 м/с) взрывоопасные концентрации газа у поверхности земли создаются только в месте истечения

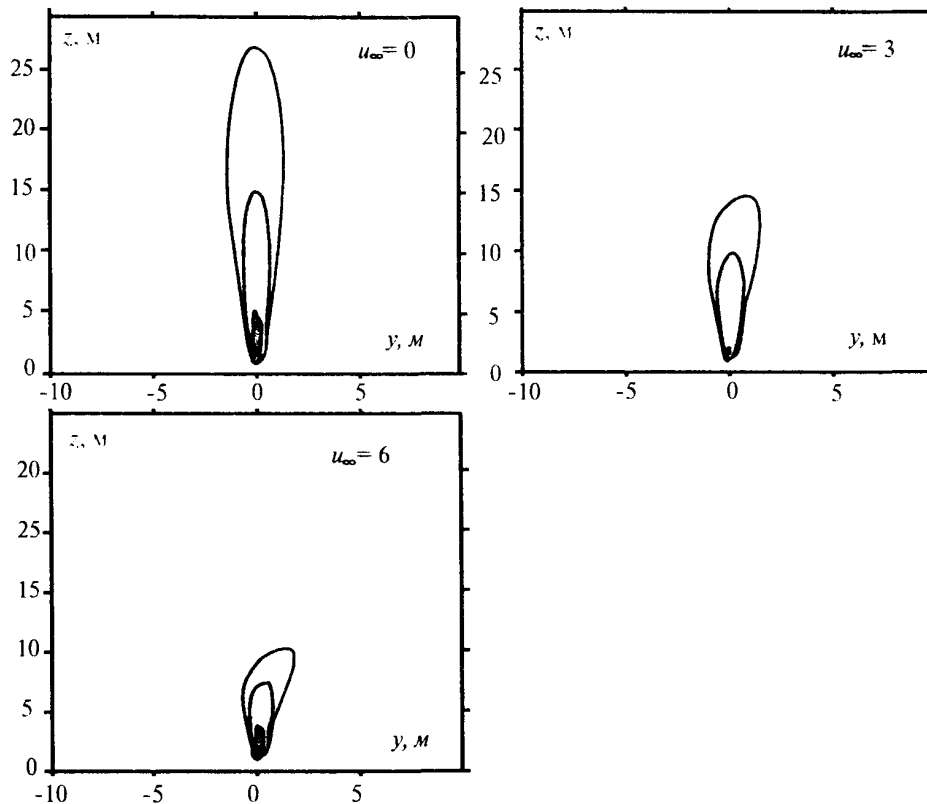


Рисунок 5.4 – Размеры и формы струи газа в условиях поперечного обтекания ветровым потоком. Расход – 4 кг/с, диаметр отверстия 50 мм. Скорости ветра u_{∞} даны в м/с

(в основании «колонны»). При скорости ветра больше 10 м/с ось восходящего конвективного течения сильно изгибается и наклоняется к поверхности земли вплоть до ее касания и образования на поверхности земли второй зоны пожароопасных концентраций. В качестве характерного примера на рисунке 5.5 представлены результаты расчета максимальных размеров зоны загазованности (изолиния концентрации $C_{\text{крит}} = 0,05$) по срезу в вертикальной плоскости, полученные для случая разрыва МГ с внешним диаметром 1420 мм ($P_{\text{раб}} = 7,5$ МПа) посередине перегона длиной 120 км с образованием начального интегрального вертикального шлейфа диаметром $D_{\text{шк}} = 30$ м с начальной дозвуковой скоростью $u_0 = 4 \cdot G / (\rho_0 \cdot \pi D_{\text{шк}}^2) \sim 14$ м/с, где G – суммарный расход газа из 2-х концов МГ. Класс устойчивости атмосферы по Паскуиллу – D, скорость ветра – 10 м/с, шероховатость поверхности земли – 0,03 м. Видно, что даже при таком крайне маловероятном сценарии развития аварии максимальная протяженность пожароопасной зоны на уровне поверхности земли не превышает 350 м по направлению ветра, т.е. величины нормативного минимального расстояния до населенных пунктов, установленного СНиП 2.05.06-85* для МГ данного диаметра.

5.8.5.6 В исключительных случаях по требованию заказчика КолАР по результатам расчетов по специализированной программе для сценария аварий из группы C_3 на плане трассы МГ строится зона приземной загазованности от «шлейфового» истечения газа, ограниченная

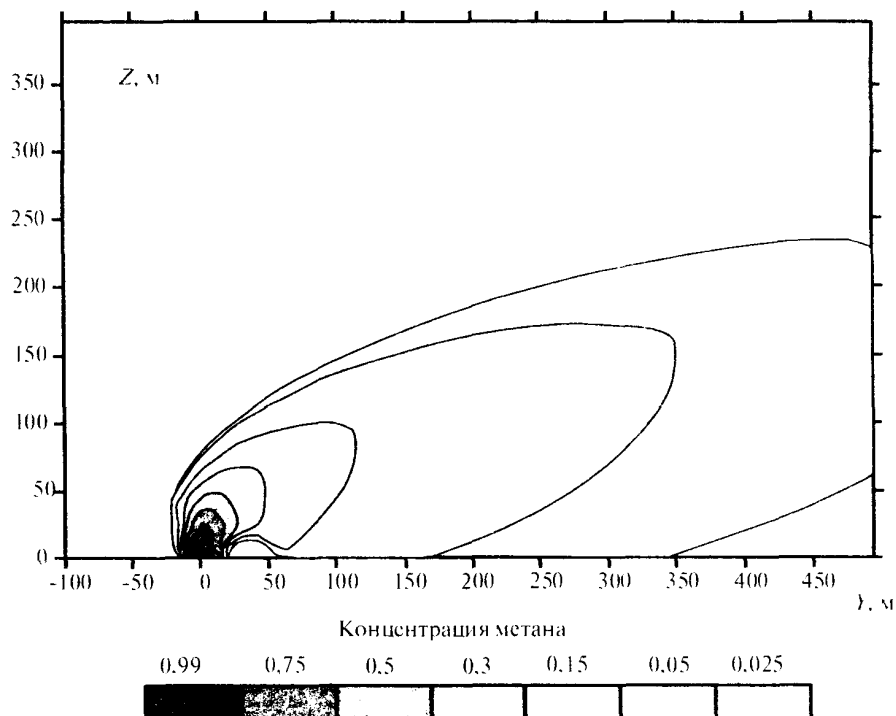


Рисунок 5.5 – Размеры зоны опасных концентраций природного газа в вертикальной плоскости симметрии выброса по направлению ветра (цветом отмечены зоны с концентрацией природного газа в смеси с воздухом выше соответствующего значения, указанного на подрисуночной шкале). Расход газа из трубопровода 7000 кг/с, эквивалентный диаметр котлована $D_{\text{ЭК}} = 30$ м, скорость ветра $u_x = 10$ м/с, класс устойчивости атмосферы – D

изолинией НКПВ (5 % об.) метана для следующих атмосферных условий: класс устойчивости атмосферы D , скорость ветра 15 м/с, направление ветра – перпендикулярно оси МГ.

5.8.6 Тепловая радиация от пожара на МГ

5.8.6.1 Характер горения газа при авариях на газопроводах и масштабы теплового воздействия пожара на окружающую среду (пространственное распределение тепловых потоков $q(x,y,z)$ в общем случае зависят от конкретного сочетания следующих факторов:

- диаметра МГ, размера отверстия истечения (трещины) в трубе (диаметр отверстия истечения при авариях на МГ принимается равным внутреннему диаметру МГ), места разрыва на перегоне между КС, фактического давления газа в месте разрыва;

- характерного размера (эффективного диаметра) грунтового котлована; характеристик массива грунта; взаимного положения осей концов разрушенного участка трубопровода.

Факторы первой группы определяют интенсивность и динамику выброса газа из участков газопровода вверх и вниз по потоку от места разрыва и, в конечном итоге, мощность теплового излучения от пламени пожара, а факторы второй группы – интегральное газодина-

мическое поле при взаимодействии высокоскоростных струй газа и конечное положение фронта пламени в пространстве (геометрическую форму пламени) и времени.

5.8.6.2 Для оценочных расчетов тепловых потоков q от пожара на МГ все многообразие реально возможных вариантов горения и геометрических форм пламени, обусловленных несимметричным (в общем случае) газодинамическим взаимодействием звуковых струй газа, неопределенностью положения концов разрушенного МГ и конфигураций грунтового котлована, может быть сведено к двум основным вариантам, описанным в 5.5.3 как сценарии группы C_1 «Пожар в котловане» и сценарии группы C_2 «Струевые пламена». При этом пламя моделируется как твердый тепловой излучатель в форме цилиндра (для группы C_1) или усеченного конуса (для группы C_2).

5.8.6.3 Частным случаем сценариев группы C_2 являются сценарии с одной горящей струей, рассматриваемые при значительном различии массовых расходов газа в потоках, истекающих из 2-х концов разрушенного МГ (например, при авариях в начале или конце перегона между КС).

5.8.6.4 С целью снижения повышенной трудоемкости проведения расчетов $q(x,y)$ и зависящих от $q(x,y)$ показателей риска, связанной с нестационарностью процесса истечения газа $G(t)$ и, следовательно, изменением во времени размеров пламени и теплового потока, рекомендуется расчеты $q(x,y)$ проводить для постоянного (фиксированного) значения интенсивности истечения $G(t_{\text{рек}})$, соответствующего рекомендуемому моменту времени $t_{\text{рек}}$ (отсчет времени – от момента разрыва МГ), зависящему от диаметра МГ – см. таблицу 5.9.

Указанные значения $t_{\text{рек}}$ и рассчитанные по ним значения $q(x, y, t_{\text{рек}})$ рекомендуется применять при расчетах теплового воздействия, прежде всего, на людей с учетом принятого положения (подтверждаемого статистикой и результатами соответствующих научных исследований) о том, что тяжелые тепловые поражения людей (вплоть до летального исхода), находящихся вблизи пожара на МГ (в т.ч. убегающих от пожара), имеют место в пределах первых минут после возникновения пожара.

5.8.6.5 При расчетах $q(x, y)$, нацеленных на оценку последствий теплового воздействия на технологическое оборудование, здания, сооружения и компоненты природной среды, рекомендуется использовать значение характерного времени, равное 90 с, при условии общей продолжительности теплового воздействия не более 15 мин. В ином случае (более 15 мин.)

Таблица 5.9 – Значения $t_{\text{рек}}$ для перехода на модель пламени со «стационарными» параметрами при расчете теплового поражения людей

Условный диаметр МГ, D_y , мм	1400	1200	1000	800	700	500	400	300	200	150–100
$t_{\text{рек}}$, с	60	60	60	45	45	30	30	30	30	30

следует рассчитывать переменную во времени зависимость $q(x, y, t)$ (по полученной ранее зависимости $G(t)$) в точке расположения рассматриваемого элемента оборудования, здания или компонента природной среды с дальнейшим расчетом тепловой дозы при заданном времени воздействия с целью оценки последствий (степени разрушения или поражения) указанных объектов (см. 5.10).

5.8.6.6 Расчет радиационного теплового воздействия (тепловых потоков $q(x, y)$) пожара на МГ на прилегающие объекты (на реципиентов термического воздействия) рекомендуется проводить по следующей формуле

$$q(x, y) = E_f \cdot \varphi(x, y) \cdot \nu, \quad (5.17)$$

где E_f – интенсивность излучения с единицы поверхности («внешней оболочки») пламени, кВт/м²;

$\varphi(x, y)$ – угловой коэффициент облучения единичной площадки;

ν – коэффициент поглощения теплового излучения атмосферой.

При этом последовательность расчета распределения тепловых потоков $q(x, y, t)$ следующая:

а) для каждой точки $x_n^{(m)}$ (см. 5.7) n -го ПОУ исследуемого МГ необходимо последовательно рассмотреть сценарии 2-х групп: сначала C_1 – «Пожар в котловане», затем C_2 – «Струевые пламена» (для надземных участков МГ рассматриваются только сценарии группы C_2). При этом на первом шаге по рассчитанным в 5.7 зависимостям $G(t)$ (для сценариев группы C_1) или $G_1(t)$, $G_2(t)$ (для сценариев группы C_2) следует определить фиксированные значения интенсивностей истечения $G(t_{рек})$ или соответственно $G_1(t_{рек})$, $G_2(t_{рек})$;

б) принять, что для сценариев группы C_1 геометрической формой пламени является цилиндр (вертикальный или наклонный), а для сценариев группы C_2 – усеченный конус (наклонный или горизонтальный) или горизонтальный полуцилиндр (только для настильных струй);

в) определить с помощью методик, приведенных в приложении Е, размеры пламени (стационарные или переменные во времени – в зависимости от вида реципиентов и конкретного сценария при рассмотрении воздействия на оборудование, здания, природную среду – (см 5.8.6.5)):

- для сценариев группы C_1 – по методике подраздела Е.4.1 приложения Е;

- для сценариев группы C_2 – по методике подраздела Е.4.2 приложения Е;

г) определить с помощью методики, приведенной в подразделе Ж.5 приложения Ж, распределения тепловых потоков $q(x, y)$ вокруг мест разрыва МГ (точек $x_n^{(m)}$) на уровне поверхности земли. При этом расчет значений углового коэффициента облучения рекомендуется проводить:

- для сценариев группы C_1 – по формулам (Ж.54)–(Ж.57) для цилиндрического пламени;
 - для сценариев группы C_2 – по формулам (Ж.58), Ж.59) для пламени в виде вертикального усеченного конуса или по формуле (Ж.47) путем численного интегрирования – для пламени в виде наклонного или горизонтального усеченного конуса или по формуле (Ж.52) – для пламени в виде горизонтального полуцилиндра.

5.8.7 Для подводных переходов МГ, выполненных традиционным методом прокладки трубы в траншею по дну водоема, при рассмотрении аварий на береговых, в т.ч. пойменных участках, а также на подводных участках в русловой части водоема на глубинах менее 5 м расчет распространения поражающих факторов выполняется в порядке, изложенном выше для сухопутных участков.

5.8.8 Для подводных переходов, выполненных традиционным методом прокладки трубы в траншею по дну водоема, при рассмотрении аварий на подводных участках в русловой части водоема на глубинах более 5 м рекомендуется принимать, что радиус газовой струи, выходящей через поверхность воды в атмосферу вертикально вверх $r_{\text{вых}}$, равен

$$r_{\text{вых}} = 0,2 \cdot (3\sqrt{G(t_{\text{рек}}) + h}), \quad (5.18)$$

где $G(t_{\text{рек}})$ – суммарный расход газа на момент времени $t_{\text{рек}}$ согласно данным таблицы 5.9, кг/с;
 h – глубина в месте разрыва, м.

5.8.9 Для подводных переходов, выполненных методом горизонтально-направленного бурения с конструкцией «труба в трубе», расчет распространения поражающих факторов выполняется в порядке, изложенном выше для сухопутных участков.

5.9 Расчет количества пострадавших среди населения и персонала от аварий на магистральных газопроводах

5.9.1 На данном этапе КолАР (этап 3.6 в блок-схеме на рисунке 5.1) следует определить для каждого расчетного сценария C_{ij} аварии (или, как минимум, для наиболее вероятного и наиболее масштабного по негативному воздействию сценариев в пределах каждого рассматриваемого ПОУ):

- зоны потенциального поражения (ЗПП) (не путать с зонами воздействия поражающих факторов – см. 5.8) людей от расчетных поражающих факторов, перечисленных в 5.8.1;
- ожидаемые количества погибших и раненых среди населения (включая людей, проживающих в ближайших к МГ населенных пунктах, посетителей мест массового скопления людей, персонал сторонних организаций, водителей и пассажиров транспортных средств на переходах через автомобильные и железные дороги, а также через судоходные водные преграды, сельскохозяйственных работников на сельхозугодьях) в зоне потенциального поражения от превалирующего («поглощающего» остальные факторы) поражающего фактора;

- ожидаемые количества погибших и раненых среди персонала эксплуатирующей организации в зоне потенциального поражения от превалирующего поражающего фактора.

5.9.2 В качестве единого целевого уровня поражения человека (единого критерия поражения) от любых поражающих факторов аварии на МГ при расчетах зон потенциального поражения следует установить летальный исход (гибель человека).

5.9.3 Зоны потенциального поражения рекомендуется представлять в виде распределений на поверхности земли вокруг точки разрыва МГ условных вероятностей поражения (от того или иного поражающего фактора) гипотетического человека со среднестатистическими возрастными и биологическими характеристиками, условно располагаемого в каждой точке расчетной сетки на открытой местности и удаляющегося из этой точки от места аварии со скоростью 2,5 м/с. При нахождении человека в транспортном средстве вместо скорости 2,5 м/с необходимо принимать скорость движения транспортного средства.

5.9.4 Принцип расчета условных вероятностей поражения человека зависит от вида поражающего фактора аварии, воздействующего на человека.

5.9.5 При рассмотрении таких поражающих факторов, как ВВС и тепловая радиация, условная вероятность $P(\Gamma_{\text{чел}} | Z_{ij-k})$ (в сокращенной записи – $P_{\text{гиб}}$) поражения человека (т.е. события $\Gamma_{\text{чел}}$, состоящего в гибели человека) в точке территории E с координатами (x, y) при условии воздействия k -го поражающего фактора в этой точке (т.е. события Z_{ij-k} , состоящего в «захвате» точки $E(x, y)$ зоной воздействия k -го поражающего фактора при реализации сценария C_{ij}) определяется из выражения функции нормального распределения, аргументом которой является пробит-функция Pr для соответствующего поражающего фактора, отражающая специфику и определяющая критерий негативного (поражающего) воздействия этого фактора на организм человека

$$P(\Gamma_{\text{чел}} | Z_{ij-k}) = P_{\text{гиб}}(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{Pr-5} e^{-v^2/2} dv, \quad (5.19)$$

$$Pr = a + b \cdot \ln D_{\text{чел}}, \quad (5.20)$$

где a, b – эмпирические коэффициенты, зависящие от вида воздействия и восприимчивости к нему людей;

$D_{\text{чел}}$ – доза негативного воздействия – функция физической характеристики конкретного поражающего фактора и времени его воздействия на человека.

Зависимость (5.19) условной вероятности поражения от пробит-функции представлена на рисунке 5.6 и в таблице 5.10.

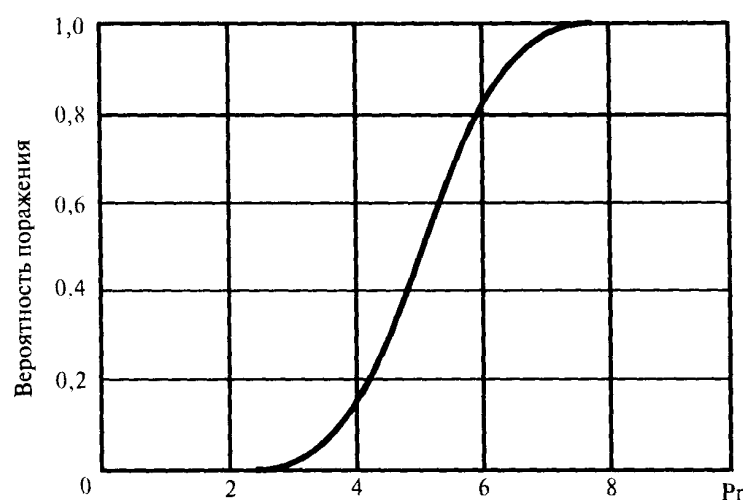


Рисунок 5.6 – Зависимость условной вероятности поражения от пробит-функции

Таблица 5.10 – Зависимость условной вероятности поражения от пробит-функции

Условная вероятность поражения $P_{\text{гиб}}$, %	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,38	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,89	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33

Конкретные значения условной вероятности поражения зависят от вида пробит- функции. Пробит-функции, описывающие воздействие избыточного давления ВВС и тепловое воздействие от пожара на человека, находящегося на открытой местности (вне помещения), приведены в подразделе И.1 приложения И.

5.9.6 Условная вероятность $P_{\text{гиб-оск}}$ поражения человека осколками разрушенного МГ в точке территории E с координатами (x,y) отождествляется с вероятностью попадания осколка в человека $P_{\text{оск}}$ (при этом считается, что человек погибает). При расчете тело человека моделируется вертикально расположенным цилиндром высотой 1,8 м и радиусом основания 0,3 м. Вероятность попадания в человека одного из осколков, вылетевших от места разрыва МГ (для

подземных МГ – из грунтового котлована) при $r \leq r_{\max}$ (см. 5.8.3.4), рассчитывается по следующим формулам:

- в случае вылета одного осколка

$$P_{\text{оск}}(r) = \frac{2 \cdot L_{\text{оск}} + b_{\text{об}}}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot \sin \left[\arctg \left(\frac{h_{\text{об}} + L_{\text{оск}} / 2}{r} \right) \right], \quad (5.21)$$

- в случае вылета двух осколков

$$P_{\text{оск}}^{(2)}(r) = 2 \cdot P_{\text{оск}}(r) - (P_{\text{оск}}(r))^2, \quad (5.22)$$

- в случае вылета трех осколков

$$P_{\text{оск}}^{(3)}(r) = 3 \cdot P_{\text{оск}}(r) - 2 \cdot (P_{\text{оск}}(r))^2 + (P_{\text{оск}}(r))^3, \quad (5.23)$$

где r – расстояние от точки разрыва МГ до точки $E(x,y)$, м;

$L_{\text{оск}}$ – характерный размер осколка, м,

$$L_{\text{оск}} = \frac{1}{3} \cdot (l_1 + l_2 + l_3), \quad l_1 = b_{\text{тр}}; \quad l_2 = \pi \cdot D; \quad l_3 = \frac{L_{\text{разр}}}{n_{\text{оск}}};$$

$b_{\text{тр}}$, D – толщина стенки и внешний диаметр трубы МГ, м;

$L_{\text{разр}}$ – длина разрыва трубы МГ, м;

$b_{\text{об}}$, $h_{\text{об}}$ – диаметр и высота моделирующего тело человека цилиндра, м;

$n_{\text{оск}}$ – общее число осколков, образовавшихся при разрушении МГ (не путать с $n_{\text{оск-1}}$).

5.9.7. Зоны потенциального поражения от того или иного поражающего фактора рекомендуется изображать на плане местности в виде изолиний условной вероятности поражения с шагом 10 % (от 1 % до 100 %). При этом изолинию условной вероятности 100 % следует считать внешней границей зоны абсолютного (100 %) поражения от данного поражающего фактора, а изолинию условной вероятности 1 % – внешней границей зоны санитарных потерь и внешней границей ЗПП в целом.

Таким образом, территориально ЗПП в целом идентифицируется как территория, ограниченная изолинией условной вероятности поражения, равной 1 %.

Определяющим размером круговой ЗПП следует считать радиус R_1 окружности, совпадающей с изолинией условной вероятности поражения, равной 1 % (рисунок 5.7а).

Определяющими размерами эллипсовидной ЗПП следует считать длины как большой $L_{1б-п}$, так и малой $L_{1м-п}$ полуосей эллипса, образованного изолинией условной вероятности поражения, равной 1 % (рисунок 5.7.б).

Определяющими размерами ЗПП в виде «лепестка» (например, от струевого пламени) следует считать длину $L_{1б-п}$ продольной оси симметрии «лепестка», образованного изолинией условной вероятности поражения, равной 1 %, а также его максимальную полуширину $L_{1м-п}$ (рисунок 5.7 в).

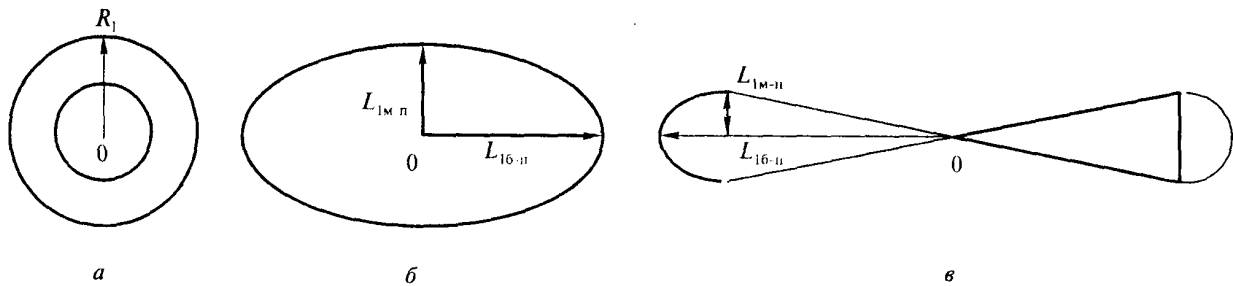


Рисунок 5.7 – Возможные формы зон потенциального поражения (т. О – точка разрыва МГ)

5.9.8 Рекомендуемый порядок расчета зон потенциального поражения и ожидаемого количества пострадавших при реализации конкретного сценария C_{ij} аварии на МГ.

5.9.8.1 Если рассматриваемый сценарий C_{ij} относится к группе C_1 или C_2 (с возгоранием газа), то для целей расчета количества пострадавших рассчитывается ЗПП только от тепловой радиации; если сценарий C_{ij} относится к группе C_3 или C_4 (без возгорания газа), то для тех же целей рассчитываются ЗПП только от ВВС и разлета осколков.

5.9.8.2 Исходными данными для расчета ЗПП являются рассчитанные на предыдущем этапе КолАР (см. 5.8) территориальные распределения $U(x,y)$ (стационарные или нестационарные) физических характеристик поражающих факторов, соответствующих рассматриваемому сценарию (избыточного давления на фронте ВВС $\Delta P_{\phi}(x,y)$, тепловых потоков $q(x,y)$, дальности r_{\max} разлета осколков массой $m_{\text{оск}}$).

5.9.8.3 Для расчета ЗПП от воздействия ВВС или тепловой радиации:

- из подраздела И.1 приложения И выбирается пробит-функция, описывающая негативное воздействие соответствующего поражающего фактора на человека при целевом уровне поражения, соответствующем летальному исходу (гибели человека);

- для каждой точки (узла) E расчетной сетки (см. 5.12) в окрестностях точки разрыва МГ (в плоскости поверхности земли) рассчитывается значение пробит-функции через дозу негативного воздействия, определяемую, в свою очередь, через значение физической характеристики $U(x,y)$ поражающего фактора в этой точке сетки и (при необходимости) – через время воздействия этого фактора на человека (в случае воздействия тепловой радиации доза рассчитывается с учетом скорости движения человека или транспортного средства, в котором человек находится, из зоны негативного воздействия);

- по формуле (5.19) по значениям пробит-функции для всех точек сетки рассчитываются условные вероятности поражения от данного поражающего фактора, и на плане территории, близлежащей к трассе МГ, строятся изолинии условных вероятностей поражения вокруг точки разрыва МГ (как минимум, должны быть изолинии 1 % и 100 % поражения).

5.9.8.4 Для расчета ЗПП от разлета осколков разрушенного МГ:

- задается расчетное количество $n_{\text{оск-л}}$ одинаковых по размеру вылетевших за пределы котлована осколков (рекомендуемое значение $n_{\text{оск-л}} = (0,3 \div 0,6) \cdot n_{\text{оск}}$, где $n_{\text{оск}}$ – общее количество образующихся при разрушении МГ осколков, которое рекомендуется принимать в диапазоне $n_{\text{оск}} = 3 \div 5$), с размерами каждого осколка $l_1 \times l_2 \times l_3$ (см. обозначения к формулам (5.21)–(5.23) и массой $m_{\text{оск}}$;

- для каждой точки E расчетной сетки, характеризующейся расстоянием r от места разрыва МГ ($r \leq r_{\text{max}}$, где r_{max} – максимальная дальность разлета осколков массой $m_{\text{оск}}$ и размерами $l_1 \times l_2 \times l_3$), рассчитывается вероятность $P_{\text{оск}}$ попадания осколка в человека, условно помещаемого в указанную точку, по одной из формул (5.21)–(5.23) – в зависимости от выбранного значения $n_{\text{оск-л}}$. По полученным значениям $P_{\text{оск}}$ строятся изолинии вероятностей поражения осколками в окрестностях точки разрыва МГ.

5.9.8.5 После расчета ЗПП от каждого из поражающих факторов рассматриваемого сценария аварии из групп C_3, C_4 (без возгорания газа) определяется превалирующая по размерам зона путем сопоставления изолиний 1 % поражения от ВВС и от разлета осколков. Для сценариев с загоранием газа (из групп C_1, C_2) превалирующей всегда является ЗПП от тепловой радиации от пожара.

5.9.8.6 Для рассматриваемого сценария производится расчет количества пострадавших от аварии, которое определяется числом людей, оказавшихся в превалирующей ЗПП (исходя из принципа «поглощения наибольшей опасностью всех меньших опасностей»).

Общие формулы для расчета количества пострадавших $N_{\text{постр}}$, в том числе количества погибших $N_{\text{гиб}}$ и раненых $N_{\text{р}}$, в ЗПП с площадью S_1

$$N_{\text{постр}} = \int_{S_1} \mu_{\theta}(x, y) \cdot v_{\text{уяз}}(x, y) ds, \quad (5.24)$$

$$N_{\text{Г}} = \int_{S_1} \mu_{\theta}(x, y) \cdot v_{\text{уяз}}(x, y) \cdot P_{\text{гиб}}(x, y) ds, \quad (5.25)$$

$$N_{\text{р}} = N_{\text{постр}} - N_{\text{гиб}}, \quad (5.26)$$

где $\mu_{\theta}(x, y)$ – функция, описывающая территориальное распределение людей в дневное время в пределах ЗПП;

$v_{\text{уяз}}(x, y)$ – коэффициент уязвимости человека, 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).

Формулы для расчета количества пострадавших в ночное время (под которым понимается не только время ночных смен, но также выходные и праздничные дни) аналогичны приведенным выше формулам при подстановке вместо функции $\mu_{\theta}(x, y)$ выражения функции территориального распределения людей в ночное время— $\mu_{\Pi}(x, y)$.

5.9.9 При практических расчетах рекомендуются нижеследующие алгоритмы расчета количеств погибших и раненых, различающиеся для разных категорий населения и персонала. (Во всех описанных ниже алгоритмах рассматривается дневное время. При необходимости расчетов для ночного времени в качестве абсолютных количеств и плотностей распределения людей используются «ночные» значения)

5.9.9.1 Расчет числа пострадавших среди жителей населенного пункта (или дачного комплекса) проводится в предположении нахождения людей вне помещений, т.е. при $v_{\text{уяз}}(x, y) = 1$ (консервативная оценка, основанная на утверждении, что люди в жилых кварталах, в отличие от работников производственных организаций, не обязаны находиться на рабочих местах, расположенных, как правило, в закрытых помещениях с $v_{\text{уяз}} < 1$).

Общее число пострадавших рассчитывается по формуле

$$N_{\text{пн-постр}} = N_{\text{пн}} \cdot (S_{\text{пн-з}}/S_{\text{пн}}), \quad (5.27)$$

где $N_{\text{пн}}$ — общее число жителей во всем населенном пункте с общей площадью $S_{\text{пн}}$, км²;

$S_{\text{пн-з}}$ — «поражаемая» площадь населенного пункта, км², попадающая в пределы превалирующей ЗПП (см. рисунок 5.8) и находящаяся между изолиниями условной вероятности поражения со значениями $P_{\text{гиб-н}}$ и $P_{\text{гиб-в}}$, «ограничивающими» всю поражаемую область населенного пункта.

Число погибших рассчитывается по формуле

$$N_{\text{пн-г}} = N_{\text{пн-постр}} \cdot 0,5(P_{\text{гиб-н}} + P_{\text{гиб-в}}). \quad (5.28)$$

Число раненых (травмированных) рассчитывается по формуле

$$N_{\text{пн-р}} = N_{\text{пн-постр}} - N_{\text{пн-г}}. \quad (5.29)$$

5.9.9.2 Расчет числа пострадавших $N_{\text{во-постр}}$ (в том числе погибших $N_{\text{во-г}}$ и раненых $N_{\text{во-р}}$) на отдельно расположенных территориях сторонних (внешних) организаций, попадающих в ЗПП, проводится в порядке, аналогичном изложенному для населенных пунктов (см. 5.9.9.1), с заменой слова «жители» на слово «работники», слов «населенный пункт» на слова «сторонняя организация» для вариантов наибольшей и наименьшей рабочей смены организации. При этом полученные по формулам (5.27)–(5.29) значения $N_{\text{во-постр}}$, $N_{\text{во-г}}$, $N_{\text{во-р}}$ умножаются на коэффициент уязвимости $v_{\text{уяз}} = 0,2$.

5.9.9.3 Расчет числа пострадавших $N_{\text{мс-постр}}$ (в том числе погибших $N_{\text{мс-г}}$ и раненых $N_{\text{мс-р}}$) в местах массового скопления людей, попадающих в ЗПП, проводится в порядке, аналогичном

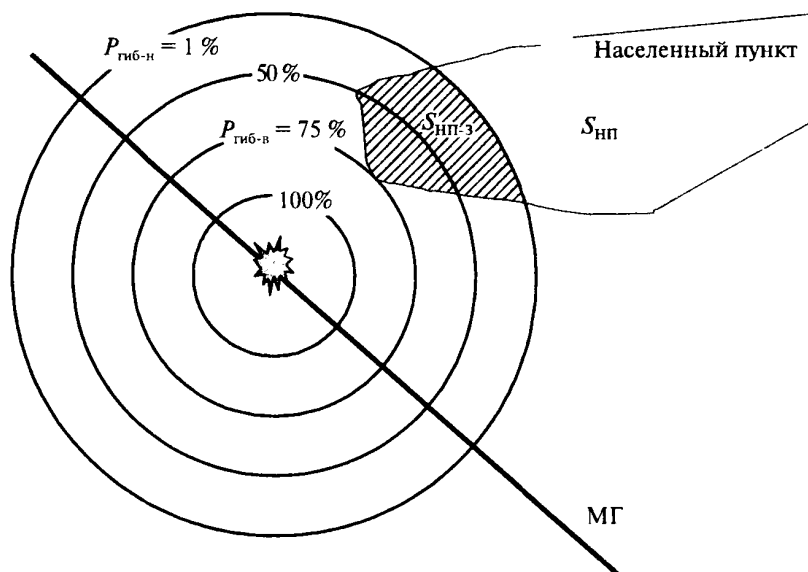


Рисунок 5.8 – К расчету числа пострадавших в населенном пункте от аварии на МГ

изложенному для населенных пунктов (см. 5.9.9.1), с заменой слова «жители» на слово «посетители», слов «населенный пункт» на слова «место массового скопления людей» для варианта проектной заполненности людьми указанного объекта. При этом для случая, когда место массового скопления людей представляет собой закрытое помещение, полученные по формулам (5.27)–(5.29) значения $N_{\text{мс-пстр}}$, $N_{\text{мс-г}}$, $N_{\text{мс-р}}$, умножаются на коэффициент уязвимости $v_{\text{уяз}}=0,5$.

5.9.9.4 Расчет числа пострадавших на сельхозугодьях, пересекаемых трассой МГ.

Общее число пострадавших сельхозработников рассчитывается по формуле

$$N_{\text{сх-пстр}} = d_{\text{сх}} \cdot S_{\text{сх-1}}, \quad (5.30)$$

где $d_{\text{сх}}$ – средняя плотность работающих на сельхозугодьях вдоль МГ во время посевных, прополочных и уборочных работ, включая водителей сельхозтехники, чел./км² (допускается в качестве $d_{\text{сх}}$ принимать среднесезонную по административному району (в котором расположен МГ) плотность сельхозработников на обрабатываемых землях независимо от вида сельхозкультуры);

$S_{\text{сх-1}}$ – площадь ЗПП, ограниченная изолинией 1 % поражения и границами сельхозугодий, км² (т.е. площадь участка земли, являющегося пересечением ЗПП и территории сельхозугодий) – (см. рисунок 5.9).

Число погибших сельхозработников рассчитывается по формуле

$$N_{\text{сх-г}} = d_{\text{сх}} S_{\text{сх-100}} + d_{\text{сх}} (S_{\text{сх-1}} - S_{\text{сх-100}}) \cdot 0,5, \quad (5.31)$$

где $S_{\text{сх-100}}$ – площадь, ограниченная изолинией 100 % поражения и границами сельхозугодий, км² (т.е. площадь участка земли, являющегося пересечением зоны 100 % поражения и территории сельхозугодий).

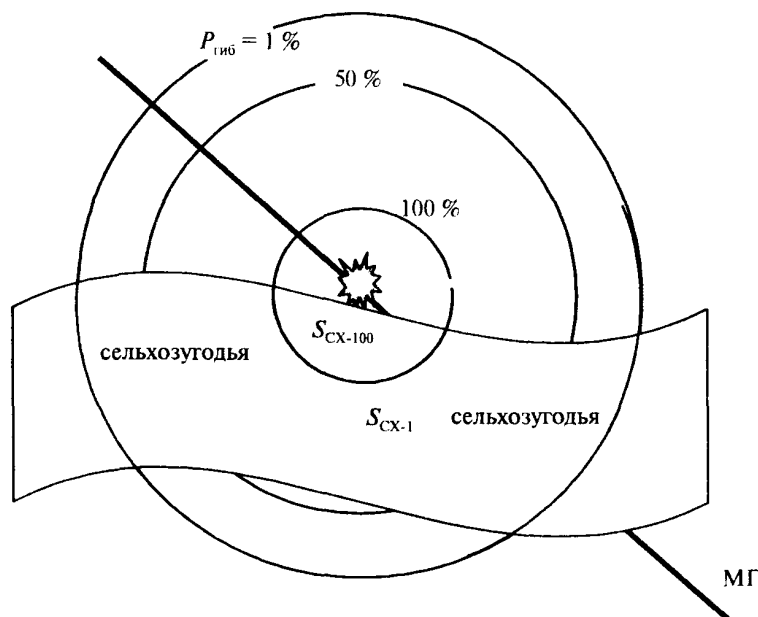


Рисунок 5.9 – К расчету числа пострадавших на сельхозугодьях от аварии на МГ

Число раненых сельхозработников рассчитывается по формуле

$$N_{сх-р} = N_{сх-псгр} - N_{сх-г} \quad (5.32)$$

5.9.9.5 Расчет числа пострадавших среди водителей и пассажиров при аварии на подземном переходе МГ через автомобильную дорогу производится при следующих допущениях: разрыв газопровода происходит в ближайшей к полотну дороги точке МГ вне патрона (кожуха); транспортные средства не обеспечивают защиты находящихся в них людей от воздействия поражающего фактора ($v_{уяз} = 1$); среднее количество людей в транспортном средстве составляет 3 человека.

Общее число пострадавших водителей и пассажиров рассчитывается по формуле

$$N_{ал-псгр} = 3 \cdot L_1 \cdot \omega_{тр} / v_{тр}, \quad (5.33)$$

где L_1 – длина отрезка автодороги в пределах ЗПП, км;

$\omega_{тр}$ – средняя интенсивность движения транспортных средств, шт./час (в соответствии со СНиП 2.05.02-85* [41] для дорог I категории $\omega_{тр} = 300$ шт./час, для дорог II категории – 200 шт./час; для дорог III категории – 80 шт./час, для дорог IV категории – 20 шт./час, для дорог V категории – 4 шт./час);

$v_{тр}$ – средняя скорость движения транспортных средств по автодороге, км/час (рекомендуется принимать для дорог I категории $v_{тр} = 70$ км/час, для дорог II категории – 60 км/час; для дорог III категории – 50 км/час, для дорог IV, V категорий – 40 км/час).

Число погибших водителей и пассажиров рассчитывается по формуле

$$N_{ал-г} = 1,5 \cdot (L_{100} + L_1) \omega_{тр}/v_{тр}, \quad (5.34)$$

где L_{100} – длина отрезка автодороги в пределах зоны абсолютного (100 %) поражения, км (для круговых ЗПП $L_{100} = 2R_{100}$, где R_{100} – радиус круговой зоны абсолютного поражения).

Число раненых водителей и пассажиров рассчитывается по формуле

$$N_{ал-р} = N_{ал-пстр} - N_{ал-г}. \quad (5.35)$$

5.9.9.6 Расчет числа пострадавших среди пассажиров при аварии на переходе МГ через железную дорогу производится при следующих допущениях: разрыв газопровода происходит в ближайшей к железнодорожной колее точке МГ вне патрона (кожуха); в момент аварии середина поезда, пересекающего подземный переход, находится над осью МГ; вагоны поезда обеспечивают частичную защиту находящихся в них людей от воздействия поражающего фактора ($v_{уяз} = 0,5$). При расчете размеров ЗПП скорости движения состава рекомендуется принимать следующими: для электропоезда и пассажирского поезда дальнего следования – 70 км/час; для скорого поезда – 90 км/час; для скоростного экспресса – 170 км/час.

Общее число пострадавших пассажиров при аварии на переходе через железную дорогу рассчитывается по формуле

$$N_{жл-пстр} = v_{уяз} \cdot (L_1/L_{ваг}) \cdot N_{1ваг}, \quad (5.36)$$

где L_1 – длина отрезка железной дороги в пределах ЗПП, м;

$L_{ваг}$ – длина одного вагона поезда, м ($L_{ваг} = 25$ м);

$N_{1ваг}$ – количество людей в одном вагоне ($N_{1ваг} = 54$ чел. – для плацкартного вагона поезда дальнего следования, $N_{1ваг} = 132$ чел. – для вагона пригородного электропоезда).

Число погибших пассажиров рассчитывается по формуле

$$N_{жл-г} = 0,5 \cdot v_{уяз} \cdot (N_{1ваг}/L_{ваг}) \cdot (L_{100} + L_1), \quad (5.37)$$

где L_{100} – длина отрезка железной дороги в пределах зоны абсолютного (100 %) поражения, м.

Число раненых пассажиров рассчитывается по формуле

$$N_{жл-р} = N_{жл-пстр} - N_{жл-г}. \quad (5.38)$$

5.9.9.7 Общие количества погибших $N_{дл-г}$ и раненых $N_{дл-р}$ среди третьих (других) лиц в результате реализации сценария C_{ij} в окрестностях точки разрыва МГ (необходимые для расчета соответствующей составляющей социально-экономического ущерба (см. 5.11 и приложение К)) в общем случае следует определять по формулам

$$N_{дл-г} = N_{ин-г} + N_{сх-г} + N_{во-г} + N_{мс-г} + N_{ал-г} + N_{жл-г}, \quad (5.39)$$

$$N_{дл-р} = N_{ин-р} + N_{сх-р} + N_{во-р} + N_{мс-р} + N_{ал-р} + N_{жл-р}, \quad (5.40)$$

где указанные в правых частях количества людей рассчитываются в соответствии с 5.9.9.1–5.9.9.6 для дневного времени (т.е. при максимальных количествах людей на объектах).

(При необходимости расчет для почного времени проводится аналогично). При этом для конкретного места аварии на трассе МГ в правых частях формул (5.39), (5.40) используются только те слагаемые, которые соответствуют реально существующим в окрестностях рассматриваемой точки разрыва МГ объектам (населенным пунктам, автодорогам и т.д.), попадающим в ЗПП.

5.9.9.8 Расчет числа пострадавших среди персонала, обслуживающего МГ, проводится исходя из численности мобильной бригады $N_{бр}$, которая может находиться непосредственно на трассе МГ (в любом месте трассы в пределах зоны ответственности ЛПУМГ, эксплуатирующего данный МГ) для проведения осмотра, технического обслуживания или ремонта оборудования линейной части МГ. Численность такой территориально локализованной бригады может варьироваться в значительных пределах (от 1 до 8 и более человек) в зависимости от вида выполняемых мероприятий (работ), при этом в составе бригады могут быть сотрудники разных служб: ЛЭС, ЭХЗ, КИПиА, связи и др. Из-за неопределенности взаиморасположения на трассе МГ мобильной бригады и ЗПП рекомендуется, кроме определения ожидаемого числа пострадавших, определить условные вероятности (при условии реализации ЗПП) попадания бригады в ЗПП и зону 100 % поражения с учетом временного режима нахождения таких бригад на трассе в течение года.

Условная вероятность попадания бригады (в полном составе) в ЗПП рассчитывается по формуле

$$P_{пз-1} = (n_d/365) \cdot (n_{час}/24) \cdot (L_1/L_{лиу}), \quad (5.41)$$

где n_d – количество дней в году нахождения бригад на трассе МГ в пределах зоны ответственности ЛПУМГ, дней;

$n_{час}$ – среднее количество часов в сутки нахождения бригады на трассе МГ (рекомендуется принимать 8 час.), час;

$L_{лиу}$ – длина в пределах ЛПУМГ обслуживаемого однопунктового газопровода или длина коридора многониточного МГ, в составе которого находится обслуживаемая нитка, км;

L_1 – длина отрезка трассы МГ в пределах ЗПП, км (для круговых ЗПП $L_1 = 2R_1$, где R_1 – радиус круговой ЗПП).

При этом общее число пострадавших $N_{перс-пстр}$ принимается равным численности бригады

$$N_{перс-пстр} = N_{бр}. \quad (5.42)$$

Число погибших $N_{перс-г}$ и число раненых $N_{перс-р}$ принимаются равными половине численности бригады

$$N_{перс-г} = N_{перс-р} = 0,5 \cdot N_{бр}. \quad (5.43)$$

Полученные в данном пункте значения $N_{\text{перс-р}}$ и $N_{\text{перс-г}}$ используются для расчета первой составляющей социально-экономического ущерба (см. 5.11 и приложение К).

5.9.10 Метод расчета количества пострадавших от аварии на подводном переходе МГ зависит от технологии исполнения перехода.

5.9.10.1 Для подводных переходов, выполненных методом горизонтально-направленного бурения и имеющих конструкцию «труба в трубе», на которых аварийный выброс газа происходит по межтрубному пространству с выходом в атмосферу уже на берегу в месте, где заканчивается кожух (согласно сделанным ранее в 5.5 допущениям), расчет количества пострадавших осуществляется по описанным выше алгоритмам (см. 5.9.9.1–5.9.9.8).

5.9.10.2 Для подводных переходов, выполненных традиционным методом с прокладкой в траншее по дну водоема, количество пострадавших определяется количеством людей на судах (плавсредствах), которые могут оказаться в районе разгерметизации МГ в период навигации (консервативная оценка). Количество пострадавших на судах рекомендуется определять по алгоритму, аналогичному порядку расчета пострадавших в автотранспортных средствах, изложенному в 5.9.9.5, который предполагает расчет количества судов, одновременно попадающих в ЗПП, с учетом интенсивности и средней скорости их движения в рассматриваемом водоеме (реке). Учет защитных свойств судна рекомендуется осуществлять с помощью понижающего коэффициента $v_{\text{уяз}}$, на который умножается число пострадавших, полученное без учета защиты. При этом рекомендуется ввести три класса судов: крупные пассажирские суда с количеством людей на борту 500 чел., $v_{\text{уяз}} = 0,2$; средние пассажирские суда – 50 чел., $v_{\text{уяз}} = 0,4$; грузовые суда, катера и лодки – 5 чел., $v_{\text{уяз}} = 1,0$.

5.10 Расчет количеств уничтоженного и поврежденного имущества и компонентов природной среды от аварий на магистральных газопроводах

5.10.1 На данном этапе КоЛАР (этап 3.7 в блок-схеме на рисунке 5.1) для каждого принятого для анализа расчетного сценария C_{ij} аварии определяются возможные количества (в натуральном выражении) следующих имущественных и природных компонентов (объектов), уничтоженных и поврежденных в результате аварии на МГ:

- зданий и сооружений вблизи трассы МГ;
- технологического оборудования линейной части МГ, а также другого оборудования вблизи МГ;
- автотранспортных средств и автодорог на пересечениях МГ с автодорогами;
- железнодорожного транспорта и железных дорог на пересечениях МГ с железными дорогами;
- надземных инженерных коммуникаций, в т.ч. высоковольтных ЛЭП;

- лесных угодий;
- сельскохозяйственных культур.

Кроме того, для расчета штрафов за загрязнение атмосферы определяются объемы выбросов в атмосферу загрязняющих веществ – природного газа и продуктов его сгорания – при возникновении пожара на МГ.

5.10.2 В качестве поражающих факторов аварии, воздействующих на имущественные и природные компоненты (объекты), в общем случае учитываются: разлет осколков, воздушная волна сжатия, тепловая радиация. В случае, если авария сопровождается воспламенением газа (группы сценариев C_1 и C_2), при расчетах количеств уничтоженных и поврежденных объектов учитывается только воздействие тепловой радиации.

5.10.3 При оценке негативного воздействия на объекты указанных выше поражающих факторов используются 2 типа пороговых критериев поражающего воздействия – характеристический и дозовый.

Характеристический критерий задается путем указания пороговых (критических) значений основной физической характеристики поражающего фактора, определяющих диапазон изменения этой характеристики, соответствующий той или иной степени повреждения (в соответствии с принятой шкалой степеней повреждения) объекта или его полному уничтожению (разрушению). Характеристические критерии для того или иного поражающего фактора рекомендуется использовать в сочетании с построением зон негативного воздействия поражающих факторов, представляющих собой совокупность изолиний заданных значений (в том числе пороговых значений) основной физической характеристики этого поражающего фактора (см. 5.8).

Дозовый критерий задается путем указания диапазона изменения дозы (функции физической характеристики поражающего фактора и времени его воздействия на объект), соответствующего той или иной степени повреждения (в соответствии с принятой шкалой степеней повреждения) объекта или его полному уничтожению (разрушению). Дозовые критерии рекомендуется использовать при рассмотрении воздействия тепловой радиации на объекты из негорючих материалов при реализации аварийных сценариев из групп C_1 , C_2 в сочетании с построением так называемых «зон полученных доз» (ЗПД) для стационарных (неподвижных объектов).

ЗПД представляет собой совокупность изолиний значений (в том числе критических) доз тепловой радиации, рассчитываемых в каждой точке расчетной сетки вокруг места аварии по переменному во времени потоку теплового облучения в этой точке в течение заданного (фиксированного) времени теплового воздействия. Время теплового воздействия ($t_{\text{доз}}$) опре-

деляется продолжительностью аварийного истечения природного газа с интенсивностью $G(t)$ от момента разрыва МГ ($t = 0$) до момента снижения интенсивности истечения до $0,01 G (t = 0)$.

Типы и значения критериев поражающего воздействия для различных поражающих факторов аварии, используемые при расчетах для разных типов имущественных и природных компонентов, и принятые шкалы степеней поражения этих компонентов приведены в таблице 5.11.

5.10.4 При использовании как характеристических, так и дозовых критериев поражающего воздействия по результатам расчета для конкретного плана размещения имущественных и природных компонентов (объектов) относительно трассы прохождения МГ должно быть определено количество поврежденных (с данной степенью повреждения) или уничтоженных объектов в результате воздействия каждого поражающего фактора в рамках рассматриваемого сценария аварии, измеряемое числом (шт.) (если объекты – здания, сооружения, транспортные средства и т. п.) или площадью (км^2) (если объекты – лесные угодья, сельхозкультуры, почвы, поверхностные экосистемы северных регионов России и т.д.).

Итоговое для каждого рассматриваемого сценария C_{ij} количество уничтоженных (N_y) (или поврежденных (N_{II}) объектов каждого вида, предназначенное к дальнейшему использованию при расчете ущерба в стоимостном выражении, определяется как максимальное из полученных по каждому поражающему фактору количеств уничтоженных (или поврежденных) объектов (исходя из принципа «поглощения наибольшей опасностью всех меньших опасностей, действующих одновременно»)

$$N_y = \left\langle \max\{N_y^{(k)}, \dots, N_y^{(k)}\} \right\rangle, \quad (5.44)$$

$$N_{II} = \left\langle \max\{N_{II}^{(k)}, \dots, N_{II}^{(k)}\} \right\rangle, \quad (5.45)$$

где $N_y^{(k)}, N_{II}^{(k)}$ – количества уничтоженных и поврежденных объектов (соответственно) в результате воздействия k -го поражающего фактора при реализации сценария C_{ij} .

5.10.5 Рекомендуемый порядок определения количества уничтоженных и поврежденных стационарных объектов: зданий, сооружений, наружных установок, металлических конструкций, транспортных средств на стоянке в результате воздействия на них воздушной волны сжатия (ВВС) (используется характеристический критерий поражающего воздействия) следующий:

а) на плане местности вокруг рассматриваемой точки $x_n^{(m)}$ разрыва МГ с нанесенными изображениями указанных стационарных объектов рассчитывается (см. 5.8) и строится зона

Таблица 5.11 — Критерии поражающего воздействия и принятые степени поражения имущества и природных компонентов (поражаемых объектов)

Поражаемые объекты (имущество или компонент природной среды)	Поражающий фактор	Тип критерия поражающего воздействия	Значения критериев поражающего воздействия	Принятая качественная шкала степеней повреждения	Количественные значения степени повреждения $k_{\text{повр}}$ отожествляемой с долей затрат на восстановление объекта
Здания и сооружения типа зданий, транспортные средства, автодороги (наличие пожарной нагрузки)	Разлет осколков	Характеристический критерий — соотношение масс осколка и объекта	См. И.2.2 (приложение И)	Слабое повреждение Среднее повреждение Сильное повреждение Полное разрушение (уничтожение)	0,1 0,4 0,7 1,0
	Воздушная волна сжатия (ВВС)	Характеристический критерий — избыточное давление на фронте ВВС	См. И.2.1 (приложение И)		
	Тепловая радиация	Характеристический критерий — критический тепловой поток	См. И.2.3 (Приложение И)		
Наружные установки, металлические конструкции, железные дороги (отсутствие пожарной нагрузки)	Разлет осколков	Характеристический критерий — соотношение масс осколка и объекта	См. И.3.2 (приложение И)	Слабое повреждение Среднее повреждение Сильное повреждение Полное разрушение (уничтожение)	0,1 0,4 0,7 1,0
	Воздушная волна сжатия	Характеристический критерий — избыточное давление на фронте ВВС	См. И.3.1 (приложение И)		
	Тепловая радиация	Дозовый критерий — тепловая доза	См. И.3.3 (приложение И)		
Лесные угодья	Тепловая радиация	Характеристический критерий — критический тепловой поток	7 кВт/м ²	Полное выгорание или повреждение деревьев до степени прекращения роста	1,0
Сельхозкультуры	Тепловая радиация	Характеристический критерий — критический тепловой поток	5 кВт/м ²	Полное уничтожение (необратимая деградация)	1,0
Почвы	Тепловая радиация	Характеристический критерий — критический тепловой поток	35 кВт/м ²	Полное уничтожение (необратимая деградация)	1,0

барического воздействия ВВС в виде изолиний избыточного давления $\Delta P_{\text{ф}}$ от максимального значения до 0,5 кПа:

б) для каждого потенциально поражаемого объекта (т.е. объекта, попадающего в зону воздействия ВВС, ограниченную изолинией 0,5 кПа) в той его точке $E(x_{31}, y_{31})$, которая ближе всего к месту разрыва МГ, определяется значение избыточного давления ВВС $\Delta P_{\text{ф-об}}$ (либо по ближайшей изолинии зоны воздействия, либо непосредственно из расчетного массива $\Delta P_{\text{ф}}(x,y)$ – см. 5.8):

в) для каждого потенциально поражаемого объекта, производится его идентификация, т.е. отнесение к одному из возможных видов зданий, сооружений, оборудования, транспортных средств, приведенных в таблицах И.1, И.5 (приложение И):

г) с использованием рассчитанных для каждого объекта значений $\Delta P_{\text{ф-об}}$ с помощью тех же таблиц И.1, И.5 (приложение И) последовательно проверяется следующее условие повреждения объекта

$$\Delta P_{\text{ф-н}}^{(k)} \leq \Delta P_{\text{ф-об}} < \Delta P_{\text{ф-в}}^{(k)}, \quad (5.46)$$

где $\Delta P_{\text{ф-н}}^{(k)}, \Delta P_{\text{ф-в}}^{(k)}$ ($k = 1,2,3,4$) – соответственно нижний и верхний пределы избыточного давления, ограничивающие один из четырех (k -й) диапазонов давлений, соответствующих четырем степеням повреждения (от слабого повреждения до полного разрушения). При выполнении условия рассматриваемому зданию (сооружению) «присваивается» соответствующая (k -я) степень повреждения и доля затрат $k_{\text{повр}}$ на восстановление.

д) Результаты выполнения процедуры для каждого объекта оформляются, как показано в таблице 5.12.

5.10.6 Рекомендуемый порядок определения количеств уничтоженных и поврежденных стационарных объектов: зданий, сооружений, транспортных средств на стоянке в резуль-

Таблица 5.12 – Перечень поврежденных зданий, сооружений, оборудования, транспортных средств на стоянке в результате воздействия ВВС при реализации сценария C_{34} аварии на n -ом км МГ «А-В», $D_{\text{в}} 1400$ мм (рекомендуемый образец таблицы)

Название и краткая характеристика здания, сооружения	Расстояние от места разрыва МГ	Степень повреждения	Доля затрат на восстановление $k_{\text{повр}}$
1 Пятиэтажное кирпичное здание ООО «N-ское», в плане 30x12 м	150 м	Слабое повреждение	0,1
2 Садовые одноэтажные деревянные дома (7 шт.) с/т «Восход»	85–95 м	Среднее повреждение	0,4
3 Двухэтажное деревянное строение (склад сельхозинвентаря)	45 м	Полное разрушение	1,0
4 Грузовой автомобиль «ЗИЛ-130» – 1 шт.	30 м	Сильное повреждение	0,7

тате воздействия на них осколков разрушенного МГ в целом аналогичен описанному выше для ВВС. При этом используются результаты расчета дальности (r_{\max}) разлета осколков с массами $m_{\text{оск}}$ (см. 5.8). Для определения степеней осколочного повреждения указанных объектов различных видов при попадании в них осколков следует использовать данные таблицы И.2 (приложение И), где приведены пороговые значения характеристического критерия – $M_{\text{оск}} = m_{\text{оск}}/m_{\text{об}}$ (где $m_{\text{оск}}$ – масса осколка, кг, $m_{\text{об}}$ – масса потенциально поражаемого объекта, кг), соответствующие четырем различным степеням повреждения. После вычисления значения $M_{\text{оск}}$ и определения соответствующего k -го диапазона, указанного в таблице И.2 (приложение И), объекту присваивается соответствующая k -я степень повреждения и доля затрат $k_{\text{повр}}$ на восстановление. К уничтоженным и поврежденным осколками объектам причисляются все объекты, находящиеся в пределах дальности разлета (r_{\max}) осколков с заданными массами ($m_{\text{оск}}$). Для каждого объекта, расположенного на расстоянии $r \leq r_{\max}$ (м) от места аварии, рассчитываются условные вероятности $P_{\text{оск}}(r)$ попадания в него осколка (из $n_{\text{оск-1}}$ осколков, вылетевших из котлована; $n_{\text{оск-1}}$ рекомендуется принимать как в 5.9) по формулам (5.21)–(5.23), в которых $b_{\text{об}}$, $h_{\text{об}}$ – соответственно характерный поперечный размер (относительно вектора скорости осколка) и высота объекта, м.

Результаты расчетов заносятся в таблицу, аналогичную таблице 5.13

Таблица 5.13 – Перечень поврежденных зданий, сооружений, оборудования, транспортных средств на стоянке в результате воздействия осколков ($n_{\text{оск-1}} = 3$, $m_{\text{оск}} = 5654$ кг) при реализации сценария C_{34} аварии на n -ом км МГ «А-В», Д_ч 1400 мм (рекомендуемый образец таблицы)

Название и краткая характеристика здания, сооружения	Расстояние от места разрыва МГ до объекта, м	Максимальная дальность разлета осколков, м	Степень повреждения, $k_{\text{повр}}$	Вероятность попадания осколков в объект
1 Садовый одноэтажный деревянный дом	95	140	Полное разрушение $k_{\text{повр}} = 1,0$	0,0057
2 Двухэтажное деревянное строение (склад сельхозинвентаря)	45	140	Сильное повреждение $k_{\text{повр}} = 0,7$	0,1243
3 Грузовой автомобиль «ЗИЛ-130» – 1 шт.	30	140	Полное разрушение, $k_{\text{повр}} = 1,0$	0,0382

5.10.7 При определении количеств уничтоженных и поврежденных единиц технологического оборудования, наружных установок осколками принимается, что в случае попадания осколка $m_{\text{оск}}$ массой в конкретный аппарат, установку, находящиеся под давлением, они полностью разрушаются ($k_{\text{повр}} = 1$) за счет эффектов, обусловленных разгерметизацией аппарата или установки с последующим выбросом и, как правило, воспламенением содержащихся в

ных опасных веществ. К уничтоженным осколками наружным установкам причисляются все аппараты и установки, находящиеся в пределах дальности разлета (r_{\max}) осколков с заданными массами ($m_{\text{ост}}$), и далее для этих установок рассчитываются вероятности попадания в них осколков в соответствии с 5.10.5.

5.10.8 Рекомендуемый порядок определения количеств уничтоженных и поврежденных зданий, сооружений и транспортных средств на стоянке как стационарных объектов, включающих горючие элементы и обладающих пожарной нагрузкой, в результате воздействия тепловой радиации от пожара (используется характеристический критерий поражающего воздействия) следующий:

а) для территории вокруг рассматриваемой точки $x_n^{(m)}$ разрыва МГ с нанесенными изображениями объектов рассчитывается распределение удельного теплового потока облучения от пожара на МГ (см. 5.8) на момент времени $t_{\text{хар}} = 90$ с после начала истечения и строится зона теплового воздействия в виде изолиний тепловых потоков q от максимального значения до 7 кВт/м^2 ;

б) для каждого потенциально поражаемого объекта (т.е. объекта, попадающего в зону теплового воздействия ВВС, ограниченную изолинией 7 кВт/м^2), в той его точке $E(x_{\text{эл}}, y_{\text{эл}})$, которая ближе всего к месту аварии, определяется значение удельного теплового потока $q_{\text{об}}$ (либо по ближайшей изолинии зоны воздействия, либо непосредственно из расчетного массива $q(x,y)$ – см. 5.8);

в) для каждого потенциально поражаемого объекта производится его идентификация, т.е. отнесение к одному из трех типов зданий, сооружений, транспортных средств, различающихся по пожарной нагрузке, по таблице И.3 (приложение И);

г) для каждого идентифицированного потенциально поражаемого объекта, «характеризуемого» рассчитанным тепловым потоком $q_{\text{об}}$, с помощью матрицы «тепловой поток – тип здания по пожарной нагрузке» и матрицы «тепловой поток – вероятность возгорания» (см. подразделы И. 2.3.2, И. 2.3.3 (приложение И)) определяется степень поражения объекта при условии возгорания $k_{\text{пор}}$ и вероятность возгорания $P_{\text{воз}}$ объекта с получением в итоге степени его повреждения $k_{\text{повр}}$ (отождествляемой с долей затрат на восстановление) по формуле

$$k_{\text{повр}} = k_{\text{пор}} \cdot P_{\text{воз}} \quad (5.47)$$

д) результаты выполнения процедуры для каждого здания (сооружения) заносятся в таблицу, аналогичную приведенной в 5.10.5 таблице 5.12.

5.10.9 Если в поврежденном или полностью разрушенном (в результате воздействия какого-либо поражающего фактора аварии) здании находилось технологическое оборудование, транспортные средства или другое имущество, то степень повреждения $k_{\text{повр}}$ и соответ-

ствующая доля затрат на восстановление этого имущества приравниваются к степени повреждения здания и доле затрат на восстановление здания.

5.10.10 Количества уничтоженных и поврежденных движущихся транспортных средств при аварии на подземном переходе МГ через автодорогу при воздействии заданного поражающего фактора рассчитываются по формулам

$$N_{\text{тр-у}} = N_{\text{ал-т}}/3, \quad (5.48)$$

$$N_{\text{тр-п}} = N_{\text{ал-р}}/3, \quad (5.49)$$

где $N_{\text{ал-т}}$, $N_{\text{ал-р}}$ – число соответственно погибших и раненых людей в транспортных средствах при воздействии на них заданного поражающего фактора (см. 5.9.9.5). Для поврежденных транспортных средств при аварии на переходе через автодорогу рекомендуется принимать степень повреждения и, соответственно, долю затрат, идущую на ремонт, равной $k_{\text{повр}} = 0,2$.

Полученные по формулам (5.48), (5.49) дробные (в общем случае) значения количеств уничтоженных и поврежденных транспортных средств следует округлять до ближайших больших целочисленных значений. Так, при расчетном значении $N_{\text{тр-у}} = 1,3$ значение $N_{\text{тр-у}}$ для дальнейшего использования следует принимать равным 2.

5.10.11 Количества уничтоженных и поврежденных вагонов движущегося поезда при аварии на подземном переходе МГ через железную дорогу при воздействии заданного поражающего фактора рассчитываются по формулам

$$N_{\text{ваг-у}} = N_{\text{жл-т}}/N_{\text{1ваг}}, \quad (5.50)$$

$$N_{\text{ваг-п}} = N_{\text{жл-р}}/N_{\text{1ваг}}, \quad (5.51)$$

где $N_{\text{жл-т}}$, $N_{\text{жл-р}}$ – число соответственно погибших и раненых людей в поезде при воздействии на них заданного поражающего фактора (см. 5.9.9.6); $N_{\text{1ваг}}$ – количество людей в одном вагоне ($N_{\text{1ваг}} = 54$ чел. – для плацкартного вагона поезда дальнего следования, $N_{\text{1ваг}} = 132$ чел. – для вагона пригородного электропоезда). Для поврежденных вагонов при аварии на переходе через железную дорогу рекомендуется принимать степень повреждения и, соответственно, долю затрат, идущую на ремонт, равной $k_{\text{повр}} = 0,2$.

5.10.12 Рекомендуемый порядок определения по дозовому критерию перечня и количеств уничтоженных и поврежденных наружных установок, металлических конструкций, железных дорог (т.е. стационарных объектов без горючих элементов и не обладающих пожарной нагрузкой) в результате воздействия тепловой радиации от пожара на МГ следующий:

а) на плане местности вокруг рассматриваемой точки $x_n^{(m)}$ разрыва МГ с нанесенными изображениями указанных стационарных объектов на основании рассчитанного ранее (см. 5.8) массива значений тепловых потоков $q(x,y,t)$ на прилегающей к точке $x_n^{(m)}$ территории рассчитывается и строится зона полученных доз за время $t_{\text{доз}}$ (см. 5.10.3) в виде изолиний

тепловых доз от максимального значения до 5000 (кВт/м²)·с. При этом тепловая доза в каждой точке с координатами (x,y) рассчитывается по формуле

$$D(x,y) = \int_0^{t_{доз}} q(x,y,t) dt; \quad (5.52)$$

б) для каждого потенциально поражаемого объекта (т.е. объекта, попадающего в ЗПД, ограниченную изолинией 5000 (кВт/м²)·с), в той его точке $E(x_{об}, y_{об})$, которая ближе всего к месту разрыва МГ, определяется значение полученной им тепловой дозы $D_{об}$ (либо по ближайшей изолинии ЗПД, либо непосредственно из расчетного массива $D(x,y)$);

в) с использованием рассчитанных значений $D_{об}$ последовательно проверяется принадлежность каждого потенциально поражаемого объекта к тому или иному классу чувствительности к тепловому воздействию из числа приведенных в таблице И.6 (приложение И), и определяются соответствующие установленному для рассматриваемого объекта классу чувствительности значения нижней $D_{пор}$ и верхней $D_{губ}$ пороговых доз из той же таблицы;

г) по формулам (И.9) приложения И путем подстановки в них значений $D_{об}$, $D_{пор}$ и $D_{губ}$ для рассматриваемого объекта определяется степень его повреждения в виде значений $k_{повр}$, отождествляемая с долей затрат, необходимых для восстановления объекта.

д) результаты выполнения процедуры для каждого объекта заносятся в таблицу, аналогичную приведенной в 5.10.5 таблице 5.12.

5.10.13 Рекомендуемый порядок определения по характеристическому критерию площадей уничтоженных и поврежденных лесных угодий от теплового воздействия следующий:

а) для территории вокруг рассматриваемой точки разрыва МГ с нанесенным контуром лесных угодий рассчитывается распределение удельного теплового потока облучения (см. 5.8) на момент времени $t_{хар} \approx 90$ с после начала истечения газа и строится зона теплового воздействия в виде изолинии теплового потока $q_x = 7$ кВт/м²;

б) определяется площадь $S_{лес-у}$ (га) уничтоженного леса, попадающего в зону теплового воздействия, ограниченную изолинией 7 кВт/м² и контуром лесных угодий (см. рисунок 5.10).

Для характерного случая простираения леса за пределы зоны 7 кВт/м² (по всему ее периметру) площадь $S_{лес-у}$ приближенно рассчитывается по следующим формулам:

- для круговой зоны теплового воздействия (см. рисунок 5.11, а)

$$S_{лес-у} = 0,0001 \cdot (\pi \cdot R_7^2 - 2 \cdot R_7 \cdot L_{кор}), \quad (5.53)$$

где R_7 – радиус круговой зоны теплового воздействия, ограниченной изолинией 7 кВт/м², м;

$L_{кор}$ – ширина коридора трубопроводов с учетом ширины расчищенных от растительности полос по обе стороны от коридора, м (в соответствии с ПТЭ МГ кроме полос между нитками от растительности очищаются полосы по 3 м от осей крайних ниток);

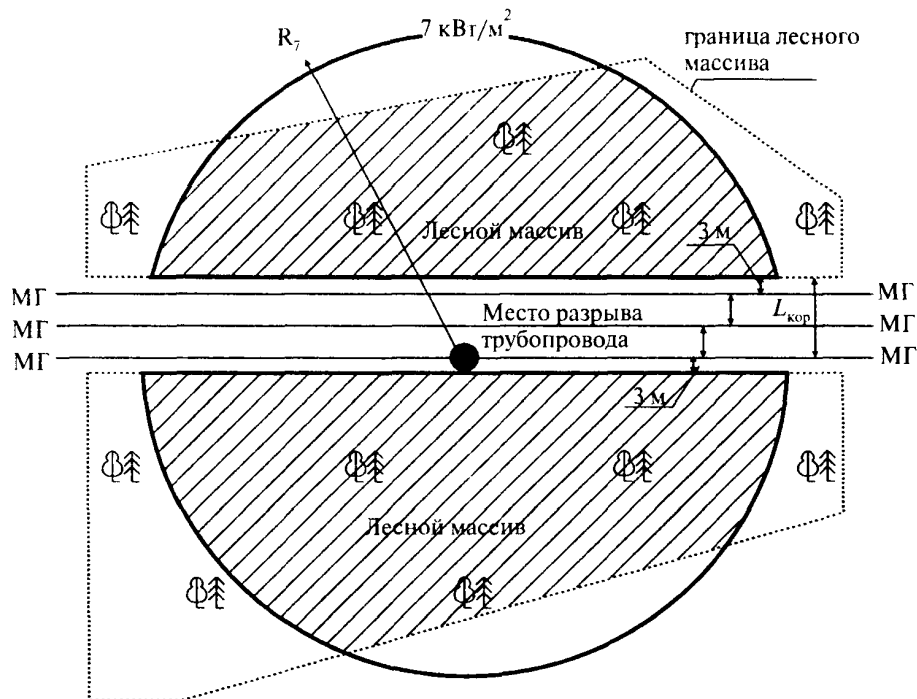


Рисунок 5.10 – К расчету площади уничтоженного леса в результате теплового воздействия от пожара на МГ

- для зоны теплового воздействия в форме эллипса с большой осью, совпадающей с осью МГ (для сценариев аварии из группы «Пожар в котловане» с наклонным вдоль оси МГ пламенем в форме цилиндра) (см. рисунок 5.11.б):

$$S_{\text{лес-у}} = 0,0001 \cdot (\pi \cdot L_M \cdot L_G - 2 \cdot L_G \cdot L_{\text{кор}}), \quad (5.54)$$

где L_G , L_M – длины, соответственно, большой и малой осей эллипса, образованного изолинией 7 кВт/м^2 , м;

- для зоны теплового воздействия в форме эллипса с большой осью, перпендикулярной оси МГ (для сценариев аварии из группы «Пожар в котловане» с наклонным поперек оси МГ пламенем в форме цилиндра) (см. рисунок 5.11 в);

$$S_{\text{лес-у}} = 0,0001 \cdot (\pi \cdot L_M \cdot L_G - \frac{L_G^2}{L_M} \cdot L_{\text{кор}}), \quad (5.55)$$

где L_G , L_M – длины, соответственно, большой и малой осей эллипса, образованного изолинией 7 кВт/м^2 , м;

- для зоны теплового воздействия в форме двух одинаковых «лепестков», центрально симметричных относительно точки разрыва МГ, с продольными осями, совпадающими с осью МГ (для сценариев аварии из группы «струевые пламена») (см. рисунок 5.11 г);

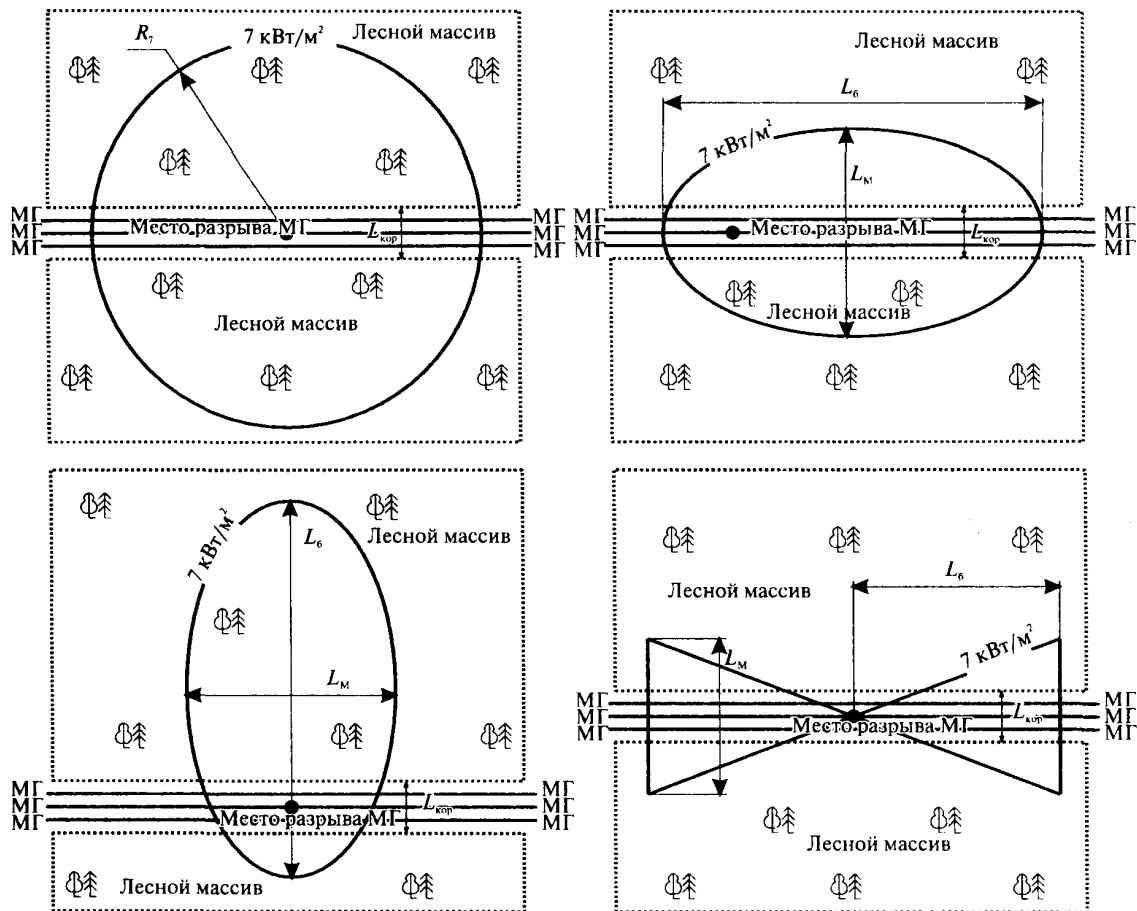


Рисунок 5.11 – К расчету площади уничтоженного огнем лесного массива при возникновении аварии с пожаром на газопроводе

$$S_{\text{лес-у}} = 0,0001 \cdot (L_{\text{м}} \cdot L_6 - 2 \cdot L_6 \cdot L_{\text{кор}} + \frac{L_6 \cdot L_{\text{кор}}^2}{L_{\text{м}}}), \quad (5.56)$$

где L_6 – длина продольной оси «лепестка», образованного изолинией 7 кВт/м^2 , м;

$L_{\text{м}}$ – максимальная ширина этого же «лепестка», м.

5.10.14 Рекомендуемый порядок определения по характеристическому критерию площадей уничтоженных сельхозкультур $S_{\text{с/х-у}}$ на обрабатываемых землях от теплового воздействия идентичен вышеизложенному порядку для лесных угодий, но при этом рассматриваемая зона уничтожения сельхозкультур ограничена изолинией 5 кВт/м^2 и из нее не вычитается площадь земли, занимаемая собственно коридором газопроводов (в формулах (5.53)–(5.56) остаются только первые слагаемые).

5.10.15 В случае необходимости учета дополнительно выгорающей площади леса или сельхозугодий за счет распространения пожара при ветровой нагрузке следует воспользоваться известными методиками учета этого фактора, в частности методикой [20].

5.10.16 Рекомендуемый порядок определения по характеристическому критерию площадей уничтоженного тепловым излучением плодородного слоя почвы $S_{\text{почв-у}}$ аналогичен вышеизложенному порядку для лесных угодий, но при этом рассматриваемая зона уничтожения ограничена изолинией 35 кВт/м^2 и из нее не вычитается площадь земли, занимаемая собственно коридором газопроводов (в формулах (5.53)–(5.56) остаются только первые слагаемые).

5.10.17 При авариях на подводных переходах МГ оценка количеств уничтоженных и поврежденных элементов имущества и компонентов природной среды выполняется в соответствии с подходами, изложенными в 5.10.1–5.10.16, с учетом ряда особенностей, указанных в 5.10.17.1–5.10.17.3 для переходов разных конструкций и их участков.

5.10.17.1 Для подводных переходов, выполненных традиционным методом прокладки трубы в траншее по дну водоема, при рассмотрении аварий на береговых, в т.ч. пойменных участках, оценка количеств уничтоженных и поврежденных имущественных и природных компонентов, расположенных в окрестностях точки разрыва МГ (как на суше, так и в прилегающей акватории, включая суда и прочие плавсредства, но исключая биоресурсы водоема), производится в полном соответствии с 5.10.1–5.10.16 аналогично оценке для сухопутных участков МГ.

5.10.17.2 Для подводных переходов, выполненных традиционным методом прокладки трубы в траншее по дну водоема, при оценке последствий от аварий на подводных участках МГ в русловой части перехода принимается следующее:

- дюкер претерпевает полное разрушение (степень повреждения $k_{\text{дювр}} = 1$), что означает необходимость нового строительства перехода в полном объеме (если методы ремонта не оговорены в технической документации; в противном случае проводится оценка степени повреждения в соответствии с принятой в проекте технологией ремонта);

- оценка количеств уничтоженных и поврежденных природных компонентов и элементов имущества других (третьих) лиц, включая суда и плавсредства в русловой части перехода, проводится в соответствии с порядком, изложенным в 5.10.1–5.10.12 с учетом воздействия на эти компоненты поражающих факторов, характерных для принятых расчетных сценариев для данной конструкции перехода и глубины местоположения аварийного участка МГ (см. 5.5);

- биоресурсы пересекаемого газопроводом водоема в качестве потенциально поражаемых природных компонентов не учитываются.

5.10.17.3 Для подводных переходов, выполненных методом горизонтально-направленного бурения с конструкцией «труба в трубе», оценка количеств уничтоженных и поврежден-

ных имущественных и природных компонентов производится в соответствии с 5.10.1–5.10.16 с учетом принятых для этого случая расчетных сценариев аварии (см. 5.5), предполагающих воздействие поражающих факторов аварии только на объекты, находящиеся на суше.

Дополнительно принимается, что степень повреждения дюкера в результате разрыва основного трубопровода составляет $k_{\text{повр}} = 0,5$, что соответствует проведению следующих работ по восстановлению работоспособности дюкера: извлечение поврежденного трубопровода из кожуха на полную длину перехода, сварка новой плети и ее обратное протаскивание через кожух, сварочно-изоляционные работы по присоединению плети к сухопутным участкам МГ, испытание отремонтированного перехода.

5.11 Расчет ущерба от аварий на магистральных газопроводах

5.11.1 На данном этапе КолАР (этап 3.8 в блок-схеме на рисунке 5.1) выполняется оценка ущерба в денежном выражении (российских рублях) для каждого расчетного сценария C_{ij} аварии в выбранных точках каждого ПОУ рассматриваемого МГ, и на этой основе – математическое ожидание ущерба от аварии в каждой точке ПОУ, средние значения ущерба в пределах ПОУ и в пределах рассматриваемого МГ (а при необходимости – средние значения ущерба по ЛПУМГ и ГТО в целом). При этом используются результаты расчета ущербов в натуральных показателях (количества погибших и раненых, уничтоженного (поврежденного) имущества и природных компонентов), полученные на предыдущих этапах (см. 5.9; 5.10).

5.11.2 Оценка ущерба от аварии на МГ производится в соответствии с общей методикой расчета ущерба от аварии на ОПО, приведенной в приложении К, с учетом ряда изложенных ниже положений, отражающих специфику МГ.

5.11.3 Ущерб $U_a^{(ij)}$ при реализации сценария C_{ij} аварии на МГ складывается из следующих основных составляющих:

- социально-экономического ущерба $U_{\text{с-э}}^{(ij)}$ (руб.), обусловленного гибелью и травматизмом обслуживающего ЛЧ МГ персонала, а также населения на территориях, прилегающих к МГ, включая работников близлежащих сторонних организаций;
- прямого ущерба производству $U_{\text{пр}}^{(ij)}$ (руб.), обусловленного разрушением и повреждением элементов линейной части МГ и потерями газа;
- ущерба $U_{\text{им.др.л}}^{(ij)}$ (руб.) имуществу других (третьих) лиц, в том числе населения;
- ущерба $U_{\text{ли}}^{(ij)}$ (руб.), обусловленного затратами на локализацию аварии, ликвидацию ее последствий и расследование аварии;
- экологического ущерба $U_{\text{экол}}^{(ij)}$ (руб.).

5.11.4 При расчете всех составляющих ущерба в результате реализации того или иного сценария C_{ij} аварии на МГ в качестве учитываемых количеств потенциально поражаемых

реципиентов (людей, элементов имущества и природной среды) следует брать количества реципиентов, подвергаемых воздействию наиболее значимого по масштабам своего распространения поражающего фактора, создающего наибольшую зону поражения (исходя из принципа «поглощения наибольшей опасностью всех меньших опасностей, действующих одновременно»).

5.11.5 При расчете составляющей социально-экономического ущерба, связанной с гибелью людей, кроме установленных законодательством Российской Федерации выплат пособий на погребение погибших и пособий в случае смерти кормильца, следует учитывать компенсационные выплаты $S_{\text{комп}}$ родственникам погибших, базирующиеся на стоимости среднестатистической жизни человека $S_{\text{ж}}$ в Российской Федерации (см. приложение К).

5.11.6 При расчете имущественных ущербов ущерб, связанный с полным уничтожением имущественного объекта, учитывается в виде полной рыночной стоимости $S_{\text{об}}$ восстановления объекта за вычетом его износа. Ущерб, связанный с частичным повреждением имущественного объекта, учитывается в виде доли $k_{\text{повр}} \cdot S_{\text{об}}$ от полной рыночной стоимости восстановления объекта, идущей на ремонт объекта. При этом значение $k_{\text{повр}}$ есть степень повреждения имущественного объекта (см. 5.10 и приложение И).

5.11.7 При расчете социально-экономического ущерба (порядок расчета приведен в подразделе К.2 приложения К) в качестве значений количеств погибших ($N_{\text{перс-г}}$) и травмированных ($N_{\text{перс-р}}$) среди персонала, фигурирующих в формулах (К.3), (К.4), (К.6) (приложение К), следует использовать соответствующие количества погибших и раненых членов бригад, работающих в дневное время на линейной части МГ, полученные в 5.9.9.8.

В качестве значений количеств погибших ($N_{\text{л.г}}$) и травмированных ($N_{\text{л.р}}$) среди третьих лиц, фигурирующих в формулах (К.7), (К.8) (приложение К), следует использовать значения, полученные в 5.9.9.7.

5.11.8 При расчете прямого ущерба производству $U_{\text{пр}}^{(ii)}$ в результате аварии на МГ в качестве потенциально поражаемых элементов основных фондов ГТО следует учитывать следующие объекты:

- а) собственно трубопровод (и соседние с ним нитки при необходимости);
- б) площадки линейных крановых узлов (в том числе на соседних нитках);
- в) опоры и провода вдольтрассовой технологической ЛЭП;
- г) блок-боксы системы телемеханики;
- д) шкафы ЭХЗ, контрольно-измерительные пункты (колонки);
- е) кабели связи;
- ж) сооружения и оборудование газоизмерительных станций;

- з) сооружения и оборудование пунктов замера и редуширования газа;
- и) краны, трубопроводы, а также камеры приема-запуска очистных устройств на узле подключения КС (при аварии вблизи КС);
- к) площадки с аварийным запасом труб, запорной арматуры и соединительных деталей;
- л) сооружения и оборудование ГРС (при аварии на газопроводе-отводе вблизи ГРС).
- м) сооружения и оборудование КС при бесшлейфовом размещении КС.

Порядок расчета $Y_{пр}^{(ij)}$ приведен в подразделе К.3 приложения К.

5.11.9 При расчете имущественного ущерба другим (третьим) лицам ($Y_{им.др.л}^{(ij)}$) в результате аварии на МГ в качестве потенциально уничтожаемого (повреждаемого) имущества других (третьих) лиц следует учитывать следующие объекты (прежде всего, в местах нарушений СНиП 2.05.06-85* [21] в части минимальных безопасных расстояний от МГ до указанных объектов):

- а) жилые и общественные здания, сооружения на территории постоянных населенных пунктов;
- б) дома, хозяйственные постройки и зеленые насаждения садоводческих товариществ;
- в) здания, сооружения, оборудование сторонних организаций;
- г) автотранспортные средства на переходах МГ через автодороги, в гаражах и на автостоянках вблизи трасс МГ;
- д) автодорожное полотно и объекты обустройства автодорог вблизи подземных переходов МГ через автодороги;
- е) железнодорожные составы на переходах МГ через железные дороги;
- ж) железнодорожное полотно и объекты обустройства железных дорог вблизи подземных переходов МГ через железные дороги;
- з) сторонние трубопроводы, ЛЭП, кабели вблизи трассы МГ;
- и) сельхозкультуры на сельхозугодьях вблизи трасс МГ;
- к) речные и морские суда, баржи в местах переходов МГ через водные препятствия.

Порядок расчета $Y_{им.др.л}^{(ij)}$ приведен в подразделе К.4 приложения К.

5.11.10 Затраты $Y_{да}^{(ij)}$ на локализацию аварии, ликвидацию ее последствий и расследование аварии рекомендуется принимать в размере 10 % от суммарного прямого имущественного ущерба производству и другим (третьим) лицам

$$Y_{да}^{(ij)} = 0,1 \cdot (Y_{пр}^{(ij)} + Y_{им.др.л}^{(ij)}). \quad (5.57)$$

5.11.11 Экологический ущерб $Y_{экол}^{(ij)}$, определяемый как вред, нанесенный компонентам природной среды в результате аварии на МГ, исчисляется в денежном эквиваленте в форме компенсационных выплат эксплуатирующей организацией за причинение указанного вреда. При расчете $Y_{экол}^{(ij)}$ в результате аварии на МГ следует учитывать:

- загрязнение атмосферного воздуха выбросами природного газа и продуктами его сгорания;

- выгорание лесных массивов и их повреждение тепловой радиацией до степени прекращения роста деревьев;

- повреждение плодородного слоя почвы в результате теплового воздействия от пожара.

Порядок расчета $Y_{\text{эко.т}}^{(ij)}$ приведен в подразделе К.6 приложения К.

Используемые в расчетах ущерба от загрязнения атмосферы объемы аварийных выбросов природного газа определяются в соответствии с 5.7.

Используемые в расчетах ущерба, связанного с поражением лесных массивов, площади уничтоженного леса определяются в соответствии с 5.10.13.

Используемые в расчетах ущерба, связанного с повреждением почв, площади поврежденных почв определяются в соответствии с 5.10.16.

5.11.12 Математическое ожидание ущерба от аварии в m -й точке трассы (с линейной координатой $x^{(m)}_n$) n -го ПОУ с учетом всех расчетных сценариев C_{ij} аварии в этой точке, образующих полную группу событий, рассчитывается по формуле

$$Y_a^{(m)} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J Y_a^{(ij)} \cdot P(C_{ij}), \quad (5.58)$$

где $Y_a^{(ij)}$ – полный ущерб при реализации сценария C_{ij} в m -й точке трассы n -го ПОУ;

$P(C_{ij})$ – условная вероятность реализации сценария C_{ij} .

Математические ожидания отдельных составляющих ущерба (т.е. социально-экономического ущерба $Y_{\text{с-э}}^{(m)}$, прямого производственного ущерба $Y_{\text{пр}}^{(m)}$, ущерба имуществу других лиц $Y_{\text{им.др.л}}^{(m)}$, затрат на ликвидацию и расследование аварии $Y_{\text{ла}}^{(m)}$, экологического ущерба $Y_{\text{эко.т}}^{(m)}$) от аварии в m -й точке трассы n -го ПОУ рассчитываются по формулам, аналогичным формуле (5.58) при подстановке в нее вместо $Y_a^{(ij)}$ значений соответствующих составляющих ущерба $Y_{\text{с-э}}^{(ij)}$, $Y_{\text{пр}}^{(ij)}$, $Y_{\text{им.др.л}}^{(ij)}$, $Y_{\text{ла}}^{(ij)}$, $Y_{\text{эко.т}}^{(ij)}$, рассчитанных для каждого сценария C_{ij} .

5.11.13 Среднее значение ущерба в пределах n -го ПОУ рассчитывается по формуле

$$Y_{\text{ПОУ}}^{(n)} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M Y_a^{(m)}, \quad (5.59)$$

где $Y_a^{(m)}$ – математическое ожидание ущерба от аварии в m -й точке n -го ПОУ;

M – общее число точек в пределах n -го ПОУ, в которых моделируется авария МГ и рассчитывается ущерб от аварии.

Средние по n -му ПОУ значения отдельных составляющих ущерба (т.е. социально-экономического ущерба $Y_{\text{ПОУ-сэ}}^{(n)}$, прямого производственного ущерба $Y_{\text{ПОУ-пр}}^{(n)}$, ущерба имуще-

ству других лиц $Y_{\text{ПОУ-им.др.л.}}^{(n)}$, затрат на ликвидацию и расследование аварии $Y_{\text{ПОУ-ла}}^{(n)}$, экологического ущерба $Y_{\text{ПОУ-экол.}}^{(n)}$) рассчитываются по формулам, аналогичным формуле (5.59) при подстановке в нее вместо $Y_a^{(m)}$ значений соответствующих составляющих ущерба $Y_{\text{с-э}}^{(m)}$, $Y_{\text{пр}}^{(m)}$, $Y_{\text{им.др.л.}}^{(m)}$, $Y_{\text{ла}}^{(m)}$, $Y_{\text{экол.}}^{(m)}$, рассчитанных для каждой m -й точки n -го ПОУ.

5.11.14 Среднее значение ущерба для выделенных ПОУ в пределах рассматриваемого (k -го) МГ рассчитывается по формуле

$$Y_{\text{МГ}}^{(k)} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N Y_{\text{ПОУ}}^{(n)}, \quad (5.60)$$

где $Y_{\text{ПОУ}}^{(n)}$ – среднее по n -му ПОУ значение ущерба;

N – общее количество ПОУ на трассе рассматриваемого k -го МГ.

Средние по рассматриваемому (k -му) МГ значения отдельных составляющих ущерба (т.е. социально-экономического ущерба $Y_{\text{МГ-сэ}}^{(k)}$, прямого производственного ущерба $Y_{\text{МГ-пр}}^{(k)}$, ущерба имуществу других лиц $Y_{\text{МГ-им.др.л.}}^{(k)}$, затрат на ликвидацию и расследование аварии $Y_{\text{МГ-ла}}^{(k)}$, экологического ущерба $Y_{\text{МГ-экол.}}^{(k)}$) рассчитываются по формулам, аналогичным формуле (5.60) при подстановке в нее вместо $Y_{\text{ПОУ}}^{(n)}$ значений соответствующих составляющих ущерба $Y_{\text{ПОУ-сэ}}^{(n)}$, $Y_{\text{ПОУ-пр}}^{(n)}$, $Y_{\text{ПОУ-им.др.л.}}^{(n)}$, $Y_{\text{ПОУ-ла}}^{(n)}$, $Y_{\text{ПОУ-экол.}}^{(n)}$, рассчитанных для каждого n -го ПОУ k -го МГ.

5.11.15 Средние значения ущерба и его составляющих по s -му ЛПУМГ, в котором эксплуатируются K газопроводов, и средние значения ущерба и его составляющих по рассматриваемому ГТО, состоящему из S ЛПУМГ, рассчитываются (при необходимости) в порядке, аналогичном порядку, изложенному в 5.11.14, с подстановкой в аналогичные расчетные формулы средних значений ущерба по каждому МГ и каждому ЛПУМГ соответственно.

5.12 Расчет потенциального, индивидуального, коллективного и социального рисков от аварий на магистральных газопроводах

5.12.1 На данном этапе КолАР (этап 3.9 в блок-схеме на рисунке 5.1) выполняется расчет потенциального, индивидуального, коллективного и социального рисков, характеризующих меру опасности от возможных аварий на МГ для людей, проживающих или работающих на территориях, прилегающих к ПОУ рассматриваемых МГ. Расчет ведется на основании рассчитанных ранее ожидаемых удельных частот аварий (см. 5.4), условных вероятностей реализации расчетных сценариев аварии (см. 5.6), зон потенциального поражения (см. 5.9) для всей совокупности расчетных сценариев аварий на идентифицированных ПОУ линейной части рассматриваемых МГ.

5.12.2 Расчеты потенциального, индивидуального, коллективного и социального рисков должны проводиться с помощью специально разработанных компьютерных программ по алгоритмам, изложенным ниже.