

Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах



С.А. Жулина,
нач. управления



М.В. Лисанов,
д-р техн. наук,
директор центра
анализа риска



А.В. Савина,
ст. науч. сотрудник

Ростехнадзор

ЗАО НТЦ ПБ

Ключевые слова: авария, магистральный нефтепровод, выброс, показатели риска.

С 1999 г. при декларировании промышленной безопасности и оценке риска опасных производственных объектов (ОПО) магистральных нефтепроводов широко применяли руководящий документ [1]. Для своего времени это был инновационный документ в сфере анализа опасностей промышленных аварий на магистральных трубопроводах [2–6]. В условиях освоения и внедрения принципов риск-ориентированного подхода его преемственно заменил новый актуализированный руководящий документ — Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах (РД-13.020.00-КНТ-148—11), утвержденный ОАО «АК «Транснефть» 17 октября 2011 г. Данное руководство демонстрирует пример применения лучшей международной и отечественной практики анализа риска аварий. В нем инструментарий количественной оценки риска не отрицает и не замещает, а взаимодополняет действующие правила промышленной безопасности риск-ориентированными методами обнаружения и предупреждения опасностей и угроз промышленных аварий. Так, в разрабатываемом сейчас проекте правил промышленной безопасности магистральных нефтепроводов методические принципы оценки риска из РД-13.020.00-КНТ-148—11 использованы как один из инструментов анализа и обоснования промышленной безопасности магистральных трубопроводов. Также методическое руководство распространяется на разработку деклараций про-

Изложены основные положения Методического руководства по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах. Представлены: перечень рассчитываемых показателей риска, связанных с потерей перекачиваемого продукта, экологическим ущербом и гибелью людей при авариях на линейных и площадочных объектах, критерии ранжирования участков и составляющих линейного объекта, распределение частоты образования дефектных отверстий по данным инцидентов и аварий.

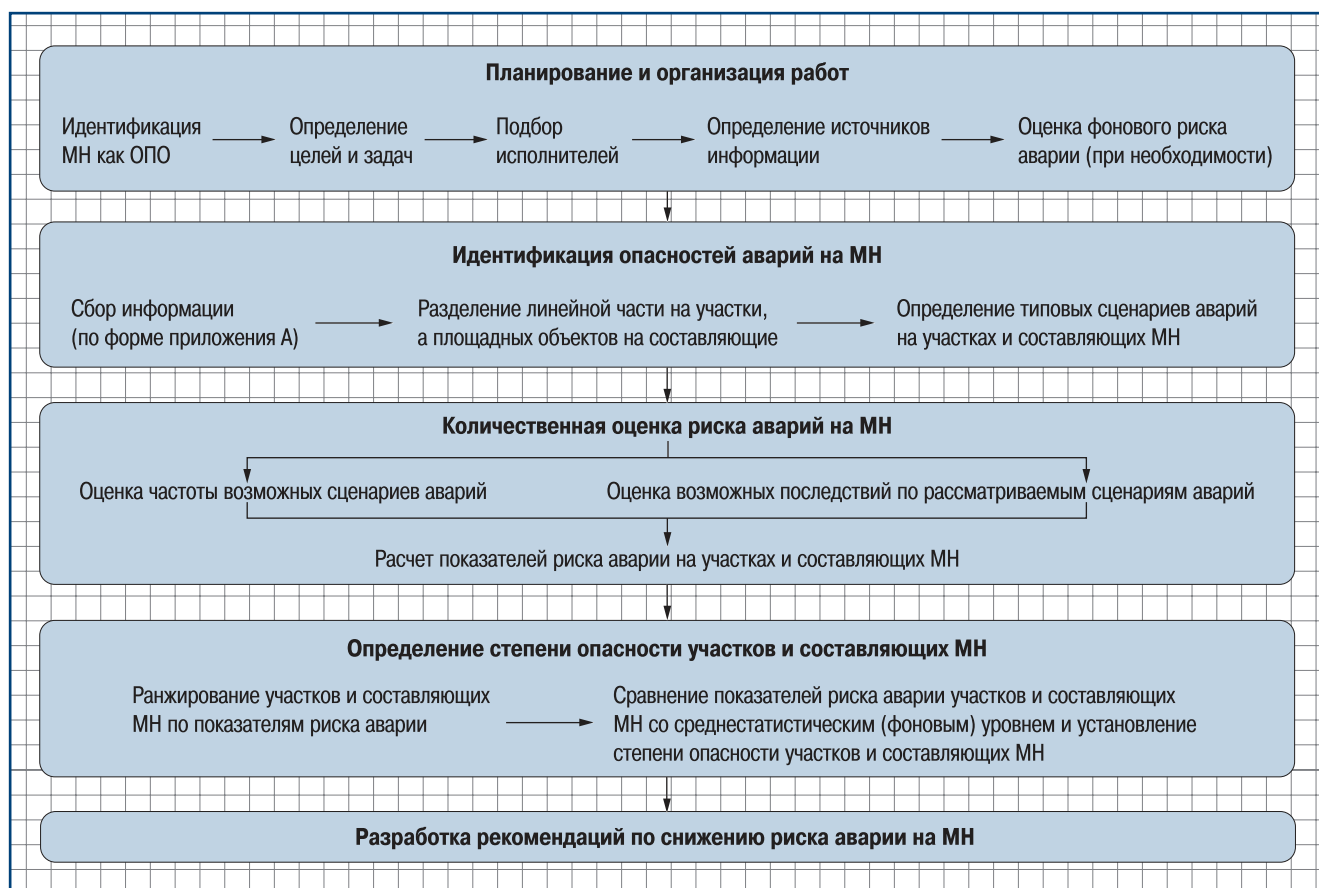
Main provisions of Methodical guide on assessment of risk accident level at oil trunk pipelines and main oil products pipelines are given in the Article. The following is provided: the list of the calculated risk indices related to the loss of the transferred product, environmental damage and loss of life in case of accidents at linear and site objects, criteria of ranging sections and components of linear object, distribution of frequency of defective openings formation based on incidents and accidents data.

мышленной безопасности ОПО магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов (МН), в том числе линейной части, насосных станций, резервуарных парков, перевалочных нефтебаз и терминалов, а также планов ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, применяется при обосновании условий страхования гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на МН [7] и иных работах, связанных с определением степени опасности и проведением количественной и балльной оценки риска аварий с выбросом нефти и нефтепродуктов на МН.

Данный руководящий документ учитывает практический опыт декларирования промышленной безопасности, анализа опасностей и оценки риска аварий, а также положения документов [8–10] и признанных специальных документов в области анализа риска аварий магистральных трубопроводов [11, 12].

РД-13.020.00-КНТ-148—11 прошел экспертизу промышленной безопасности на соответствие действующим нормативным правовым актам Российской Федерации и нормативным техническим документам, регламентирующим требования в области промышленной безопасности согласно [13]. Заключение экспертизы промышленной безопасности утверждено Ростехнадзором.

Согласно РД-13.020.00-КНТ-148—11 оценку степени риска аварий на МН проводят в пять этапов (рис. 1).



▲ Рис. 1. Блок-схема оценки степени риска аварий на МН

Планирование и организация работ

Основная цель процедуры оценки степени риска аварии — оптимальное по издержкам обеспечение безопасного функционирования МН в условиях угрозы возникновения промышленных аварий.

При планировании работ по оценке степени риска аварий на МН определяют актуальные задачи анализа аварийной опасности, которые конкретизируют на различных этапах жизненного цикла МН. Так, на этапе проектирования могут ставиться задачи оценки вариантов безопасного размещения объектов МН или оценки обеспечения промышленной безопасности в альтернативных проектных и технических решениях, а на этапе эксплуатации или при реконструкции — контроля основных опасностей аварий на МН, например при декларировании промышленной безопасности и разработке планов ликвидации аварийных разливов.

Для повышения качества и достоверности определения опасностей аварий оценка степени риска аварий на МН должна проводиться под руководством эксперта, аттестованного в области экспертизы документации в части анализа риска ОПО МН [9].

Идентификация опасностей аварий на МН

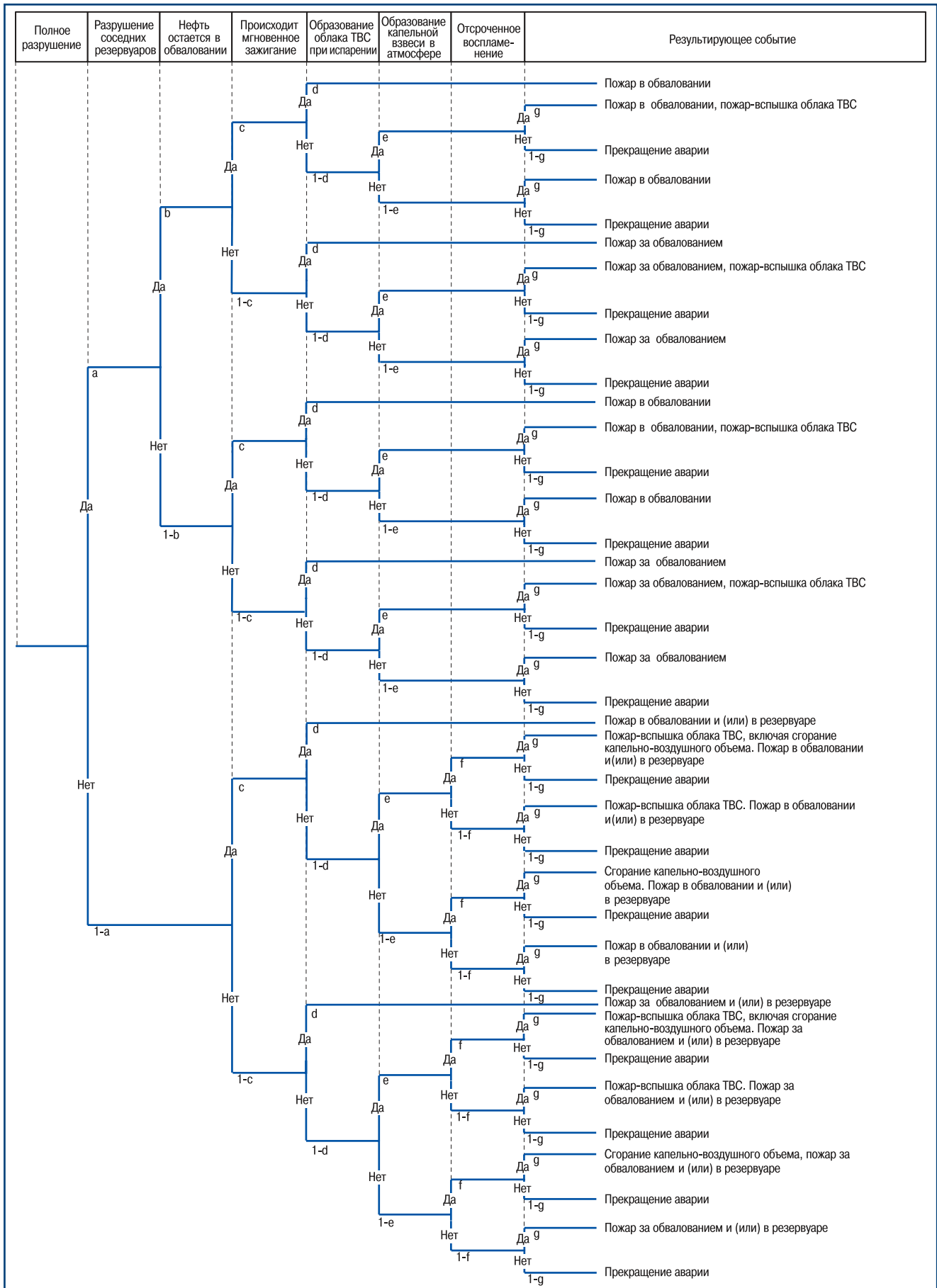
На этапе идентификации выявляют и описывают все основные источники аварийных опасностей (участки и составляющие МН) и сценарии их реализации.

В РД-13.020.00-КНТ-148—11 рекомендован перечень исходной информации, необходимой для оценки степени риска аварий на МН, указаны принципы деления линейной части (ЛЧ) МН на участки, а площадочных объектов — на составляющие. Также определены группы характерных сценариев возможных аварий на участках линейной части МН и на оборудовании площадочных объектов: вертикальных стальных резервуарах хранения нефти (нефтепродуктов), подземных железобетонных резервуарах, надземных и подземных дренажных емкостях, насосных, технологических трубопроводах. Представлены деревья событий и приведены условные вероятности различных ветвлений событий по характерным группам сценариев. Пример одного из деревьев событий для сценариев аварии с частичным или полным разрушением наземного резервуара приведен на рис. 2.

Количественная оценка риска аварий на МН, оценка частоты и последствий аварий

Для оценки частоты аварий на участках МН в РД-13.020.00-КНТ-148—11 предлагается известная методика балльной оценки факторов влияния состояния МН на степень риска аварии [1, 11], скорректированная с учетом характерных для российских МН причин аварий (несанкционированные врезки, человеческий фактор) и применения дополнительных мер обеспечения промышленной

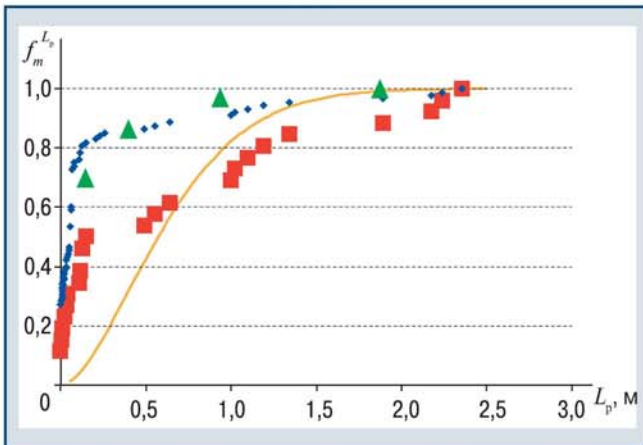
Анализ риска



▲ Рис. 2. Пример дерева событий при разрушении (переливе) наземного резервуара

безопасности (повышенный коэффициент запаса прочности трубопровода; прокладка трубопровода с использованием технологий микротоннелирования, наклонно-направленного бурения, «труба в трубе»). Отдельно выделена методика балльной оценки факторов влияния для проектируемых МН, учитывающая их специфику, так как на этапе проектирования не представляется возможным дать объективную оценку ряду факторов влияния.

В целях уточнения вероятностного распределения размеров дефектных отверстий при разработке руководящего документа проанализирована статистика по инцидентам и авариям на российских МН. На рис. 3 видно, что фактическое распределение частоты образования дефектных отверстий по всевозможным причинам за исключением внешнего воздействия (красные квадраты) хорошо аппроксимируется распределением Вейбулла (оранжевая линия), а с учетом внешних воздействий (голубые ромбы) лучше соответствует предложенным в РД-13.020.00-КНТ-148—11 эмпирическим значениям (зеленые треугольники). Параметры дефектных отверстий и частота их возникновения приведены в табл. 1.



▲ Рис. 3. Распределение частоты образования дефектных отверстий с характерным размером L_p

Таблица 1

Параметры дефектного отверстия	Дефектное отверстие			
	Свищ	Трещина		Гильотинный разрыв
		малая	средняя	
L_p/DN	—	0,30	0,75	1,50
$S_{эфф}/S_0$	—	0,0072	0,0448	0,179
$f_m^{L_p}$	0,7	0,165	0,105	0,030

Примечания: 1. L_p — характерный линейный размер дефектного отверстия (дефектное отверстие принимается в форме ромба с соотношением диагоналей 8:1); DN — номинальный диаметр МН; $S_{эфф}$ — эквивалентная площадь дефектного отверстия; S_0 — площадь поперечного сечения трубы; $f_m^{L_p}$ — частота возникновения дефектного отверстия с характерным размером L_p .

2. Свищ характеризуется площадью $S_{эфф} \leq 10^{-4} \text{ м}^2$ и не зависит от S_0 и DN.

Руководящий документ содержит порядок оценки возможных последствий по рассматриваемым сценариям аварий. Уточнена методика расчета массы выброса нефти (нефтепродукта), основанная на численном решении системы дифференциальных уравнений в частных производных, описывающей движение жидкости в трубопроводе, включающей законы сохранения массы, импульса и энергии потока ньютоновской жидкости. Отражены особенности использования действующих нормативных документов Ростехнадзора и МЧС России для оценки зон действия поражающих факторов при авариях на МН.

В целях оценки последствий аварии, в том числе для обоснования условий страхования ответственности [7], приведен порядок расчета ожидаемого числа пострадавших при аварии. Так, расчет ожидаемого количества пострадавших $N_{пстр}$, включая погибших $N_{гиб}$ и раненых N_p , в зоне действия поражающих факторов площадью S_1 выполняются по формулам:

$$N_{пстр} = \iint_{S_1} \mu_d(x, y) v_{уяз}(x, y) ds;$$

$$N_{гиб} = \iint_{S_1} \mu_d(x, y) v_{уяз}(x, y) P_{гиб}(x, y) ds;$$

$$N_p = N_{пстр} - N_{гиб},$$

где $\mu_d(x, y)$ — функция, описывающая территориальное распределение людей в пределах зоны действия поражающих факторов; $v_{уяз}(x, y)$ — коэффициент уязвимости человека; $P_{гиб}(x, y)$ — условная вероятность гибели человека в точке нахождения на территории.

В РД-13.020.00-КНТ-148—11 представлены инженерные формулы расчета ожидаемого числа пострадавших из числа персонала, жителей населенных пунктов, пассажиров железнодорожного и автомобильного транспорта и других, учитывающие территориальное распределение людей и время их пребывания в зоне действия поражающих факторов (для автомобильных и железных дорог — интенсивность и скорость движения транспорта).

Определение степени опасности участков и составляющих МН

Для определения степени опасности аварии на МН в РД-13.020.00-КНТ-148—11 используются основные (индивидуальный $R_{инд}$, потенциальный $R_{пот}$, коллективный $R_{колл}$ и социальный $F(x)$ риск гибели человека при аварии) [8] и специальные (удельные, интегральные) показатели риска аварии на МН.

Пример специальных показателей риска аварии для линейной части и площадочных объектов приведен в табл. 2.

Посредством сравнения рассчитанных показателей риска со среднестатистическим (фоновым) уровнем риска аварии $R_{5 лет}$ определяют степень опасности участков и составляющих МН и пред-

Таблица 2

Показатели риска аварии		Наименование (линейная часть/площадочные объекты)	Единица измерения
Линейная часть	Площадочные объекты		
$\Lambda_{\text{МН}}$	P_A	Интенсивность аварий/частота разгерметизации оборудования	год ⁻¹
Λ_{1000}	—	Удельная интенсивность аварий	1/(1000 км · год)
—	$P_{\text{эф}}$	Частота возникновения аварий, связанных с возникновением поражающего эффекта (взрыв, пожар или огненный шар)	год ⁻¹
M_A	—	Средняя масса утечек нефти, нефтепродукта при аварии	т
\overline{m}_A	m_A, m_a	Средняя масса потерь нефти, нефтепродукта при аварии/средняя масса потерь нефти, нефтепродукта при наиболее опасном и наиболее вероятном сценарии аварии	т
R_m	R_m	Ожидаемая масса потерь нефти, нефтепродукта при аварии	т/год
R_{m1000}	—	Удельные ожидаемые потери нефти, нефтепродукта при аварии	т/(1000 км · год)
\overline{Y}_A	Y_A, Y_a	Средний размер ущерба/средний размер ущерба при наиболее опасном и наиболее вероятном сценарии аварии	тыс. руб.
$R_{\text{н.с.1}}/R_{\text{н.с.10}}/R_{\text{н.с.30}}$	$R_{\text{н.с.1}}/R_{\text{н.с.10}}/R_{\text{н.с.30}}$	Частота гибели 1/10/30 и более человек при авариях (интенсивность возникновения крупных аварий с групповыми смертельными несчастными случаями)	год ⁻¹
—	$N(N_c)/n(n_c)$	Возможное число пострадавших (в т.ч. погибших) при наиболее опасном/ наиболее вероятном сценарии аварии (в т.ч. среди персонала, населения и иных физических лиц)	чел.
МВКП _л	МВКП _п	Максимально возможное количество пострадавших (в т.ч. погибших) при авариях	чел.

лагают необходимые организационно-технические мероприятия обеспечения безопасности МН и очередность их внедрения.

Опасность участков и составляющих МН устанавливают относительным сравнением со среднестатистическим уровнем риска аварии по четырем степеням: от малой до чрезвычайно высокой. При отсутствии достоверных сведений о среднестатистическом уровне риска аварии для какого-либо показателя риска аварии на ЛЧ МН критерии степени опасности устанавливают, исходя из интервала изменения показателя риска $\{R_{\text{мин}}, R_{\text{макс}}\}$ для всех участков анализируемой трассы МН (табл. 3).

Среднестатистический (фоновый) уровень риска аварии для ЛЧ МН $R_{5 \text{ лет}}$ определяют на этапе «Планирование и организация работ» как среднегодовое значение показателя риска аварии за последний пя-

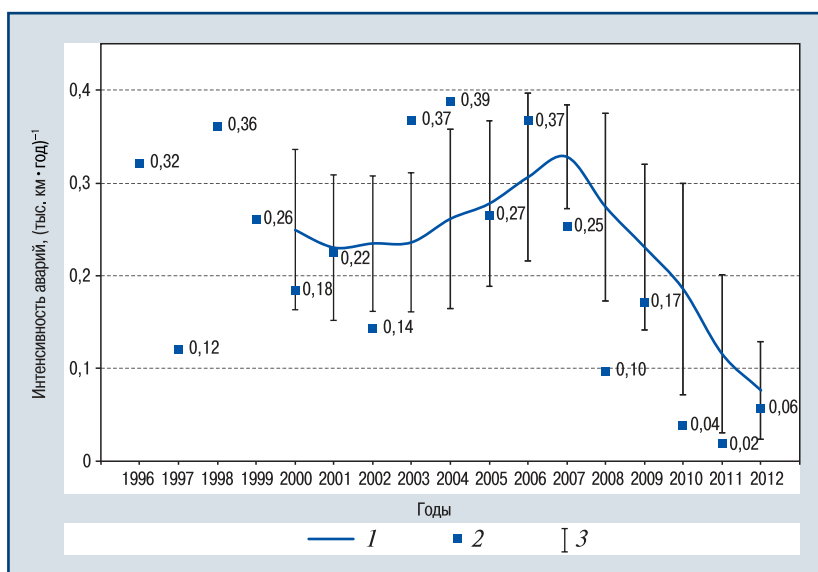
тилетний период рассмотрения на анализируемых участках. Динамика одного из фоновых показателей опасности — удельной интенсивности аварий на российских МН — представлена на рис. 4.

Разработка рекомендаций по снижению риска аварии на МН

Завершающий этап процедуры оценки степени риска аварии на МН — разработка рекомендаций по снижению риска аварии. Методическое руководство устанавливает, что необходимость разработки рекомендаций по снижению риска аварии безусловна только для чрезвычайно опасных участков и составляющих МН. Для высоко- и среднеопасных участков и составляющих МН необходимость разработки рекомендаций зависит от имеющихся ресурсов на внедрение дополнительных мероприятий (меры,

Таблица 3

Степень опасности аварии на участке ЛЧ МН	Значение рассчитанного показателя риска аварии R	
	исходя из среднестатистического уровня риска	исходя из интервала $\{R_{\text{мин}}, R_{\text{макс}}\}$
Малая	$R < 0,5R_{5 \text{ лет}}$	$R < R_{\text{мин}} + 0,3(R_{\text{макс}} - R_{\text{мин}})$
Средняя	$0,5R_{5 \text{ лет}} < R < 5R_{5 \text{ лет}}$	$R_{\text{мин}} + 0,3(R_{\text{макс}} - R_{\text{мин}}) < R < R_{\text{мин}} + 0,8(R_{\text{макс}} - R_{\text{мин}})$
Высокая	$5R_{5 \text{ лет}} < R < 50R_{5 \text{ лет}}$	$R_{\text{мин}} + 0,8(R_{\text{макс}} - R_{\text{мин}}) < R < R_{\text{мин}} + 0,97(R_{\text{макс}} - R_{\text{мин}})$
Чрезвычайно высокая	$R > 50R_{5 \text{ лет}}$	$R > R_{\text{мин}} + 0,97(R_{\text{макс}} - R_{\text{мин}})$



▲ Рис. 4. Динамика аварийности на магистральных нефтепроводах по данным Ростехнадзора (1996–2012 гг.):

1 — средняя интенсивность аварий за предшествующие пять лет; 2 — интенсивность аварий за год; 3 — 95%-ный доверительный интервал за пятилетний период

группы мер) обеспечения безопасности технического и (или) организационного характера.

В заключение отметим, что актуализированное методическое руководство на практике помогает реализовать для МН положения Концепции совершенствования государственной политики в области обеспечения промышленной безопасности с учетом необходимости стимулирования инновационной деятельности предприятий на период до 2020 года, одобренной на заседании Президиума Правительства Российской Федерации 28 июля 2011 г. Руководящим принципом концепции обозначен риск-ориентированный подход к обеспечению безопасной эксплуатации ОПО. Расчет показателей и оценка степени риска аварии на ЛЧ (участках) и площадочных объектах (составляющих) МН используются в РД-13.020.00-КНТ-148—11 для обоснования приоритетов в мероприятиях по оптимальному обеспечению безопасного функционирования МН в условиях возможного возникновения опасностей промышленных аварий. Другими словами данный документ позволяет оптимизировать затраты и результаты по предупреждению, локализации и ликвидации аварий, а значит помогает сохранить и упрочить достигнутый относительно высокий уровень промышленной безопасности на российских МН.

Список литературы

1. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах. — Сер. 27. — Вып. 1. — М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2005. — 118 с.
2. Анализ риска аварий на нефтепроводных системах БТС и МН «Дружба»/ М.В. Лисанов, А.И. Гражданкин, А.В. Пчельников и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2006. — № 1. — С. 34–40.

3. Сумской С.И., Лисанов М.В., Пчельников А.В. О расчете объемов разливов опасных жидкостей при авариях на объектах трубопроводного транспорта// Безопасность труда в промышленности. — 2006. — № 2. — С. 48–52.

4. Анализ риска магистральных нефтепроводов при обосновании проектных решений, компенсирующих отступления от действующих требований безопасности/ М.В. Лисанов, С.И. Сумской, А.В. Савина и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2010. — № 3. — С. 58–66.

5. Анализ российских и зарубежных данных по аварийности на объектах трубопроводного транспорта/ М.В. Лисанов, А.В. Савина, Д.В. Дегтярев, Е.А. Самусева// Безопасность труда в промышленности. — 2010. — № 7. — С. 16–22.

6. Савина А.В., Сумской С.И., Лисанов М.В. Анализ риска аварий на магистральных нефтепроводах при обосновании минимальных безопасных расстояний// Безопасность труда в промышленности. — 2012. — № 3. — С. 58–63.

7. Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте: Федер. закон Рос. Федерации от 27 июля 2010 г. № 225-ФЗ; принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 16 июля 2010 г.; одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 19 июля 2010 г.// Рос. газ. — 2010. — 2 авг. — № 5248.

8. РД 03-418—01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. — Сер. 03. — Вып. 10. — М.: ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2001. — 60 с.

9. РД 03-14—2005. Порядок оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечень включаемых в нее сведений. — Сер. 27. — Вып. 4. — М.: ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2006. — 28 с.

10. РД 03-357—00. Методические рекомендации по составлению декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта. — Сер. 27. — Вып. 3. — М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002. — С. 149–261.

11. W. Kent Muhlbauer. Pipeline Risk Management. Manual Ideas, Techniques, and Resources. — 3-rd Edition. — Houston: Gulf Professional Publishing, 2004.

12. СТО Газпром 2-2.3-351—2009. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «ГАЗПРОМ». — М.: ООО «Газпром ЭКСПО», 2009.

13. ПБ 03-246—98. Правила проведения экспертизы промышленной безопасности. — Сер. 26. — Вып. 2. — М.: ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2004. — С. 5–19.

risk@safety.ru