

**АНАЛИЗ РИСКА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ МИНИМАЛЬНЫХ
БЕЗОПАСНЫХ РАССТОЯНИЙ ОТ МАГИСТРАЛЬНЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ ДО НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ,
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

*ГК «Промышленная
безопасность»,
г.Москва*

***Савина Анна Вячеславовна**
Старший научный сотрудник АНО «Агентство
исследований промышленных рисков»*

***Лисанов Михаил Вячеславович**
Директор центра анализа риска, доктор технических наук*

***Сумской Сергей Иванович**
Старший научный сотрудник, кандидат технических наук*

В России создана, функционирует и развивается уникальная по протяженности, производительности и безопасности система магистральных трубопроводов (МТ). Анализ аварийности показывает, что аварии с гибелью людей на российских МТ достаточно редки [1], однако в условиях их прокладки вблизи населенных пунктов, объектов производственной и транспортной инфраструктуры не исключена возможность поражения людей при аварии.

Одной из важных проблем обеспечения промышленной и пожарной безопасности при проектировании и строительстве МТ является установление минимальных безопасных расстояний¹ от оси МТ до соседних сооружений и объектов. Требования к обоснованию минимальных безопасных расстояний, в том числе на основе моделирования и расчета последствий аварий, содержатся в ряде нормативных правовых документов [2-4].

Рассмотрение существующих подходов и анализ возможных способов определения безопасных расстояний от МТ до объектов воздействия (населенных пунктов, производственной и транспортной инфраструктуры) указывает на их непосредственное сопоставление с возможными зонами действия поражающих факторов аварий на МТ, которые устанавливаются на основе:

- фактических данных о зафиксированных при авариях зонах поражения («апостериорный» подход);
- расчетов максимальных размеров зон поражения;
- количественной оценки риска (КОР) аварий.

Достоверность данных в первом случае базируется на представительности статистических данных об известных крупных авариях на МТ,

¹ Под минимальным безопасным расстоянием понимается минимальное допустимое расстояние от оси линейной части магистрального трубопровода до соседних зданий, строений, сооружений, населенных пунктов, транспортных путей, устанавливаемое в целях обеспечения безопасности людей.

во втором – на расчете и моделировании последствий аварий с наиболее протяженными зонами поражения, в третьем – на учете вероятности возникновения аварии с определенными последствиями и использовании критериев приемлемого (допустимого) риска. В любом из этих подходов могут использоваться «коэффициенты запаса», компенсирующие неполноту существующих знаний и представлений.

Рассмотрим применение обозначенных выше подходов к установлению минимальных безопасных расстояний для разных видов МТ (газо-, нефтепроводы, трубопроводы сжиженных углеводородных газов²) и определим, в каких случаях преимущественно используются обозначенные выше подходы к установлению минимальных безопасных расстояний.

Наиболее распространенным и устоявшимся способом является определение безопасных расстояний исходя из опыта происшедших аварий на аналогичных объектах. Этот подход частично (совместно с моделированием последствий) реализован в пп. 3.16, 12.3* СНиП 2.05.06-85* «Магистральные трубопроводы»³.

Анализ происшедших достаточно многочисленных аварий на магистральных газопроводах (МГ) показывает, что размеры зон поражения людей (разлет осколков, тепловое излучение от горения струй) лежат в диапазоне от 100 до 350 м от оси трубы и определяются в первом приближении диаметром и давлением в трубопроводе. В данном случае достаточно представительная статистика аварий не требует, как правило, применения дополнительных «коэффициентов запаса» по безопасности, и минимальные безопасные расстояния принимаются эквивалентными максимальным наблюдавшимся зонам поражения [5].

Опыт аварии под Уфой в 1989 г. обозначил повышенную опасность выбросов сжиженных углеводородных газов (СУГ), связанную с мгновенным вскипанием перегретых жидкостей и образованием протяженных облаков тяжелых газов, способных распространяться у поверхности земли с сохранением способности к воспламенению на расстоянии в несколько километров [6]. Следствие этой катастрофы – десятикратное увеличение нормативных значений безопасных расстояний от МТ СУГ до объектов с присутствием людей.

Второй способ установления минимальных безопасных расстояний для МТ – расчет зон поражения при максимальной гипотетической ава-

² В том числе трубопроводы, транспортирующие широкую фракцию легких углеводородов (ШФЛУ).

³ Согласно реформе технического регулирования табл.4* и 20* СНиП 2.05.06-85*, регламентирующие минимальные расстояния от оси МТ до населенных пунктов, отдельных промышленных и сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений, исключены из Перечня национальных стандартов и сводов правил, обязательных для применения, по распоряжению Правительства Российской Федерации от 21 июня 2010 г. №1047-р.

Предотвращение аварий зданий и сооружений

рии (МГА) с рассмотрением конкретного участка трубопровода (профиль трассы, задвижки и т.д.), свойств транспортируемых углеводородов, технологических параметров перекачки, условий окружающей среды и действий по локализации и ликвидации аварии. «Коэффициент запаса» по безопасности в этом случае неявно заложен в допущениях и предположениях о возникновении и развитии аварии и определяется степенью песимистичности при выборе рассчитываемого сценария МГА.

Данный детерминистский подход основан на расчете сценария с полным разрушением МГ и максимальной дальностью распространения поражающих факторов при аварийных выбросах опасных веществ.

В табл. 1 приведены примеры рассчитанных по программному комплексу ТОКСИ+ [7, 8] зон смертельного поражения человека при авариях на отдельных участках МГ по данным деклараций промышленной безопасности и отчетам по КОР.

Среди основных поражающих факторов, характерных для аварий на МГ, наиболее значимым по размерам зон поражения является термическая радиация от горящих струй газа, а для магистральных нефтепроводов (МН) и МГ СУГ – термическая радиация при воспламенении облаков топливно-воздушных смесей (ТВС).

Основанный на анализе последствий аварии подход также применим для определения безопасных расстояний для «типового» участка МГ, так как расстояния, установленные по расчетам термического поражения от горящих струй газа, незначительно отличаются от расстояний, зарегистрированных при авариях, а результаты расчета по модели [9] имеют меньший набор исходных данных и принятых допущений по сравнению с моделями расчета последствий аварий на МН и МГ СУГ.

Таблица 1

Последствия аварии	Поражающий фактор	Зона действия поражающего фактора, м
МГ DN 600, P = 5,7 МПа		
Расширение газа	Барическое воздействие	5
Осколки	Механическое воздействие	30
Горение струи	Термическое воздействие	250
Пожар в котловане	То же	130
МН DN 1000, P = 6,3 МПа		
Пожар пролива	Термическое воздействие	140
Воспламенение облака ТВС	То же	200
МГ ШФЛУ DN 700, P = 5,5 МПа		
Пожар пролива	Термическое воздействие	200
Воспламенение облака ТВС	То же	2400
Горение струи	– «–	300

Третий способ обоснования минимальных безопасных расстояний основан на использовании КОР, позволяющей оценить возможность возникновения аварии, в том числе МГА.

На рассматриваемом участке трассы МТ рассчитываются варианты выброса для всего диапазона размеров дефектных отверстий (от свища до гильотинного разрыва трубопровода) и все возможные исходы аварий. При моделировании распределения в пространстве зон действия поражающих факторов учитываются вероятность возникновения аварии и условная вероятность развития аварии по тому или иному сценарию. Критерии поражения человека определяются по пробит-функции.

В качестве безопасного принимается расстояние, на котором рассчитанное значение потенциального риска гибели человека не превышает уровня, заданного в качестве допустимого. Согласно п. 4.2.6 Методических указаний по проведению анализа риска опасных производственных объектов (РД 03-418-01) критерии приемлемости риска аварии определяются на основе нормативных правовых документов (например, для МТ горючих веществ целесообразно учитывать критерии [4]) или обосновываются в проектной документации, исходя из опыта эксплуатации аналогичных объектов.

Практика использования КОР [10, 11] по модели, основанной на [9, 12], при декларировании и разработке специальных технических условий показала, что размер зон поражения и тяжесть последствий при авариях на МТ, определяющие минимальные безопасные расстояния, связаны с технологическими параметрами трубопровода (диаметр, давление), характеристиками перекачиваемого продукта, в том числе пожаро-, взрывоопасными или токсическими свойствами, агрегатным состоянием в трубопроводе (газ, жидкость, в том числе сжиженный газ); особенностями окружающей местности (рельеф); метеоусловиями (температура воздуха, скорость и направление ветра, стратификация (устойчивость) атмосферы); уязвимостью объектов воздействия (наличие селитебных зон, производственных объектов, транспортной инфраструктуры); эффективностью системы обнаружения и ликвидации утечки, действий персонала.

Отметим, что значимость указанных факторов зависит от вида МТ (МГ, МН или МТ СУГ). Например, основными факторами, определяющими сценарии развития аварий на МГ и зоны поражения людей, являются: несущая способность грунта, давление в месте разрыва, расположение места разрыва относительно компрессорных станций и линейных запорных кранов, а метеорологические факторы (скорость и направление ветра, класс стабильности атмосферы, влажность воздуха) влияют незначительно [9].

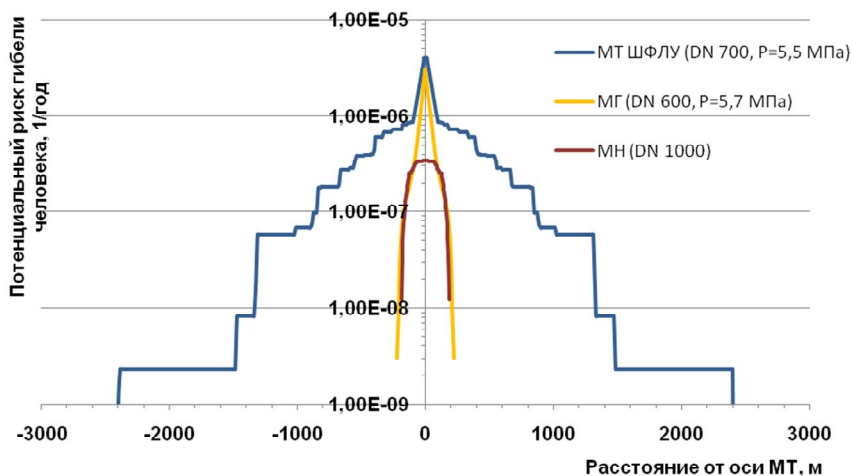
Напротив, для МТ СУГ, наибольшая аварийная опасность которых определяется возможностью дрейфа и воспламенения облаков ТВС, раз-

меры зон поражения существенно зависят от метеорологических факторов в момент аварии. В табл. 2 представлены расчеты размеров зоны дрейфа облака пропана при различных метеоусловиях, полученные по РД-03-26-2007 [13].

Таблица 2

Метеорологические условия ⁴	Условная вероятность реализации метеоусловий для данной местности	Расстояние дрейфа, на котором достигается концентрация 0,5 НКПВ, м
1 F	0,05	2400
1 A	0,05	1500
3 D	0,4	1050
5 D	0,4	850
10 D	0,1	650

На графике ниже (см. рисунок) представлены зависимости потенциального риска гибели людей при авариях на отдельных участках МТ СУГ (ШФЛУ), МГ и МН от расстояния до оси этих трубопроводов.



По графику видно, что для МГ и МН вероятностные оценки для определения безопасных расстояний не требуются: в связи с резким спадом потенциального риска в проекции поперек оси трубопроводов, безопасные расстояния, определенные по детерминистскому и вероятностно-

⁴ Скорость ветра (м/с) на высоте 10 м и класс устойчивости атмосферы по Паскуилу [14]

Предотвращение аварий зданий и сооружений

му подходам, практически совпадают. В то время как зоны действия поражающих факторов аварий на МТ СУГ варьируются от нескольких сот метров до 2,5 км, при этом потенциальный риск различается на данных расстояниях на два-три порядка.

В табл. 3 представлены нормативные и расчетные значения минимальных безопасных расстояний, полученные при КОР проектируемых и реконструируемых продуктопроводов ШФЛУ.

Таблица 3

Параметры трубопровода	Район прокладки трубопровода	Расстояние по СНиП 2.05.06-85* (до населенных пунктов), м	Зона действия поражающих факторов при МГА, м	Расстояние, м, на котором достигается потенциальный риск гибели человека, год ⁻¹		
				1·10 ⁻⁸	1·10 ⁻⁷	1·10 ⁻⁶
DN 250, P _{раб} = 1,8 МПа	Самарская обл.	2000–3000	1050	990	460	230
DN 500, P _{раб} = 3,3 МПа	Ямало-Ненецкий автономный округ	Не определено (для продуктопроводов DN 400 минимальные расстояния сближения с населенными пунктами составляют 3000–5000 м)	1150	1000	600	250
DN 700, P _{раб} = 5,5 МПа	Ханты-Мансийский автономный округ		2400	1340	850	350

Расчеты минимальных безопасных расстояний с использованием методологии количественного анализа риска аварий показывают, что для современных продуктопроводов СУГ размеры аварийно-опасных зон для пребывания людей не превышают 1,4 км с интенсивностью смертельного травмирования 1·10⁻⁸год⁻¹, тогда как детерминистские расчеты дают оценку размеров зон смертельного поражения до 2,4 км. Соотношения размеров зон, рассчитанных по разным подходам, зависят от вероятности возникновения аварии, рассматриваемой в качестве МГА.

Таким образом, из анализа нормативной базы, аварий и результатов расчета последствий аварийных выбросов опасных веществ и оценки риска аварий на МТ можно сделать следующие выводы:

1. Установлено влияние на размеры зон поражения и безопасных расстояний технологических параметров трубопровода, характеристик перекачиваемого продукта, особенностей окружающей местности, метеоусловий и иных факторов. Значимость указанных факторов зависит

- от вида МТ (МГ, МН или МТ СУГ), поэтому для решения практических задач необходимы анализ опасности конкретных участков МТ и обоснованный выбор критериев безопасности.
2. Применение методологии количественной оценки риска позволяет обосновывать минимальные безопасные расстояния, размер которых может быть существенно меньше нормативных [5] или определенных исходя из зон поражения при МГА.
 3. Представленные результаты предлагается использовать при разработке нормативных документов по безопасности объектов трубопроводного транспорта, в том числе законопроекта – Технического регламента о безопасности магистральных трубопроводов для транспортировки жидких и газообразных углеводородов и Правил безопасности для магистральных трубопроводов.

Библиографический список

1. 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.
2. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» // Собр. законодательства Рос. Федерации. — 2010. – №1. – Ст. 5.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008 г. №87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» // Рос. газ. – №4598. – 2008. – 27 фев.
4. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» // Собр. законодательства Рос. Федерации. – 2008. – № 30. – Ст. 3579.
5. СНиП 2.05.06-85*. Магистральные трубопроводы. – М.: Госстрой, 1998.
6. Бесчастнов М.В. Оценка опасности перегретых жидкостей в трубопроводных системах большой протяженности // Безопасность труда в промышленности. – 1990. – №12. – С. 19-24.
7. Сравнение результатов моделирования аварийных выбросов опасных веществ с фактами аварий / С.И. Сумской, К.В. Ефремов, М.В. Лисанов, А.С. Софьин // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – №10. – С. 42-50.
8. Сравнение результатов расчетов последствий аварийных выбросов опасных веществ по программным комплексам ТОКСИ+ и PHAST / М.В. Лисанов, К.В. Ефремов, С.И. Сумской, В.А. Пантелеев // Безопасность труда в промышленности. – 2011. – №2– С. 56-60.

9. СТО Газпром 2-2.3-351-2009. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром».
10. Анализ риска аварий на магистральном трубопроводе, транспортирующем широкую фракцию легких углеводородов / С.И. Сумской, А.В. Пчельников, Е.Л. Шанина и др. // Безопасность труда в промышленности. – 2007. – №2. – С. 48-52.
11. 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.
12. РД-13.020.00-КТН-148-11. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах.
13. РД-03-26-2007. Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ, утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 декабря 2007 г. №859. Серия 27. Выпуск 2 / Колл. авт. – М.: Научно-технический центр по безопасности в промышленности, 2008. – 124 с.
14. Pasquill F. Atmospheric Diffusion. – New York: J. Wiley, 1974. – 429 p.