

# Анализ риска аварий на магистральных трубопроводах при обосновании минимальных безопасных расстояний



**А.В. Савина,**  
ст. науч.  
сотрудник



**С.И. Сумской,**  
канд. техн. наук, ст.  
науч. сотрудник



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

АНО «Агентство исследований  
промышленных рисков»

ЗАО НТЦ ПБ

**Ключевые слова:** магистральные трубопроводы, риск аварии, минимальные безопасные расстояния.

Одна из ключевых проблем обеспечения промышленной и пожарной безопасности — установление минимальных безопасных расстояний между источниками аварий и соседними сооружениями и объектами. Требования к обоснованию минимальных безопасных расстояний, в том числе на основе моделирования и расчета последствий аварий, содержатся в ряде нормативных правовых документов [1–5].

Особенно актуальна задача определения минимальных безопасных расстояний<sup>1</sup> в связи с развитием системы магистральных трубопроводов (МТ) [6, 7]. Анализ аварийности показывает, что аварии с гибелью людей на российских МТ достаточно редки [8], однако в условиях их прокладки вблизи населенных пунктов, объектов производственной и транспортной инфраструктуры не исключена возможность поражения людей при аварии. Особый резонанс вызывают крупные промышленные аварии с групповой гибелью людей. Ниже представлены масштабы и особенности некоторых крупных аварий на МТ:

<sup>1</sup> 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.

Приведен обзор методических подходов к определению безопасных расстояний от магистральных трубопроводов до населенных пунктов, производственных и транспортных объектов. Представлены результаты количественной оценки риска аварий с выбросом сжиженных углеводородных газов при обосновании безопасности проектируемых трубопроводов.

*This article provides the review of the methodological approaches to the problem of safety distances determination from the main pipelines to the settlements, industrial and transport facilities. The results of quantitative risk analysis of the accidents with liquefied petroleum gases emission used for safety case of the designed pipelines are presented.*

**1 июля 1959 г.** Мексика, штат Веракрус, Коацакоалькос. Взрыв и пожар на нефтепроводе. Погибли 12 человек, более 100 ранены.

**19 июля 1960 г.** США, штат Висконсин, Меррил. При проведении земляных работ произошла разгерметизация газопровода. Утечка газа с последующим взрывом стали причиной гибели 10 человек.

**4 марта 1965 г.** США, штат Луизиана, Натчиточес. Взрыв на 32-дюймовом газопроводе компании «Теннесси». Погибли 17 человек, 9 получили ранения. Причина — разгерметизация газопровода из-за коррозионного растрескивания под напряжением.

**29 мая 1968 г.** США, штат Джорджия, Хэпвиль. Бульдозер задел дюймовый газопровод у детского сада, в результате произошли взрыв и пожар. Семь детей и двое взрослых погибли, трое детей получили серьезные ранения.

**4 июня 1989 г.** СССР, Уфа. Авария на магистральном продуктопроводе (DN 700,  $P_{\text{раб}} = 3,5 \div 3,8$  МПа) под Уфой на перегоне между станциями Казаяк и Улу-Теляк на 1710-м км Куйбышевской железной дороги с выбросом и воспламенением паров широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ). Расстояние дрейфа облака 900–1350 м. В зоне взрыва оказались два пассажирских поезда. Погибли 573 человека, более 600 получили травмы различной степени тяжести. В районе взрыва образовалась зона сплошного завала леса площадью 2,5 км<sup>2</sup>. В радиусе до 15 км от места

взрыва в домах населенных пунктов выбиты стекла, частично разрушены рамы и шиферные фронтоны.

**17 октября 1998 г.** Нигерия, штат Дельта, Джесси. Произошел взрыв на трубопроводе Нигерийской национальной нефтяной корпорации, перекачивающем бензин. Причина аварии — умышленное повреждение трубопровода. Жители ближайших деревень пришли к разрушенному трубопроводу для сбора разлившегося топлива. Произошли взрыв и пожар, в результате которых погибли около 1200 человек. Пожар удалось потушить только 23 октября.

**10 июля 2000 г.** Нигерия, штат Дельта, Джесси. Разгерметизация трубопровода с последующим взрывом. Погибли около 250 человек.

**16 июля 2000 г.** Нигерия, штат Дельта, Варри. При разрушении трубопровода и последующем взрыве погибли 100 жителей деревни.

**19 августа 2000 г.** США, штат Нью-Мексико, Карлсбад. Воспламенение газа при разрыве 30-дюймового газопровода привело к гибели 12 человек, находившихся в кемпинге в 180 м от места аварии. На месте разрыва газопровода образовался котлован 16 м в ширину и 24 м в длину. 15-метровый участок трубы был вырван и выброшен из котлована в виде трех осколков (наибольший — на расстоянии 87 м). Причина аварии — внутренняя коррозия.

**30 ноября 2000 г.** Нигерия, штат Лагос. Утечка нефтепродукта из трубопровода с последующим воспламенением. Погибли около 60 жителей рыбацкой деревни.

**19 июня 2003 г.** Нигерия, штат Абия. При попытке хищения нефтепродукта из трубопровода произошел взрыв. Погибли 125 жителей близлежащей деревни.

**30 июля 2004 г.** Бельгия, Брюссель. Утечка и взрыв газа на магистральном газопроводе (МГ) (DN 900) газоперерабатывающего завода Butagaz в 40 км от Брюсселя. Цепь взрывов уничтожила две фабрики, оставив между заводами большой кратер. Тела погибших и обломки оборудования были разбросаны в радиусе 500 м от места катастрофы. На расстоянии до 150 м выгорели все припаркованные автомобили, растительность выгорела на расстоянии до 250 м. Действие взрывной волны ощущалось на расстоянии до 10 км от места аварии. Погибли 24 человека (на расстоянии до 200 м), более 120 получили серьезные ожоги и ранения. Большинство погибших — полицейские и пожарные, прибывшие на место утечки по тревоге.

**17 сентября 2004 г.** Нигерия, штат Лагос. При попытке хищения нефтепродукта из трубопровода произошел взрыв. Погибли десятки людей.

**12 мая 2006 г.** Нигерия, штат Лагос. Произошел взрыв на нефтепроводе при попытке хищения нефти. Погибли около 150 человек.

**26 декабря 2006 г.** Нигерия, штат Лагос. Вандальные действия привели к взрыву нефтепровода. Погибли более 500 человек.

**16 мая 2008 г.** Нигерия, штат Лагос. Бульдозером поврежден подземный нефтепровод. В результате взрыва и последующего пожара погибли около 100 человек.

**19 декабря 2010 г.** Мексика, Сан Мартин Тексмелукан де Лабастида. Взрыв на насосной станции Petroleos Mexicanos привел к разгерметизации нефтепровода с последующим истечением горячей нефти. Погибли 27 человек, 52 были

ранены. Взрыв вызван неудачной попыткой врезки в нефтепровод в целях хищения нефти.

**12 сентября 2011 г.** Кения, Найроби. В промышленном районе Лунга Лунга разгерметизировался трубопровод Кенийской трубопроводной компании, перекачивающий бензин, дизельное и реактивное топливо. Часть топлива попала в реку. Люди в соседних густонаселенных трущобах Синая начали собирать вытекающее топливо, оно взорвалось, образовав гигантский огненный шар. Пожар распространился на близлежащие трущобы. Источник воспламенения — искры с горячей свалки. Около 100 человек погибли, 116 были госпитализированы с различной степенью ожогов. Тела погибших и фрагменты построек были найдены в 300 м от места взрыва.

Среди перечисленных аварий обращают на себя внимание многочисленные случаи взрывов при аварийной разгерметизации на магистральных нефте- и продуктопроводах (МН) в Мексике, Нигерии и Кении, что, очевидно, связано с теплым климатом, способствующим при утечках образованию топливно-воздушных смесей (ТВС) из-за повышенной температуры окружающей среды. Большое количество пострадавших обусловлено напряженными социальными условиями близпроживающего населения.

Методические подходы к установлению минимальных безопасных расстояний условно можно разделить на три направления, основанные на использовании: 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, 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 для каких видов МТ (газо-, нефтепроводы, трубопроводы СУГ) и 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».<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 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.

Таблица 1

Анализ происшедших достаточно многочисленных аварий на 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 [9].

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 [10]. Следствие этой катастрофы — десятикратное увеличение нормативных значений безопасных расстояний<sup>1</sup> от МТ СУГ до объектов с присутствием людей.

Второй способ установления минимальных безопасных расстояний для МТ — расчет зон поражения при максимальной гипотетической аварии (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 пессимистичности при выборе рассматриваемого сценария МГА.

Данный детерминистский подход основан на расчете сценария с полным разрушением МТ и максимальной дальностью распространения поражающих факторов при аварийных выбросах опасных веществ. В табл. 1 приведены примеры рассчитанных по программному комплексу ТОКСИ+ зон смертельного поражения человека при авариях на отдельных участках МТ 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 [11] (см. табл. 1).

При расчете максимальной зоны поражения на МН и МТ СУГ принимается максимальный размер утечки для рассматриваемого участка трассы, консервативно оценивается площадь разлива нефти (нефтепродукта) и рассчитывается расстояние, на которое может дрейфовать облако их паров, сохра-

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

няя способность к воспламенению [12–13]. Рассеяние опасных веществ в атмосфере рассчитывается по Методическим указаниям по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ (РД-03-26—2007) при наихудших условиях рассеяния в приземном слое атмосферы. В качестве консервативной оценки минимального безопасного расстояния при расчете дрейфа пожаровзрывоопасного облака принимается расстояние, на котором облако рассеивается до концентрации, равной половине нижнего концентрационного предела воспламенения (НКПВ), что учитывает неоднородность распределения концентрации в облаке. При необходимости рассматриваются и возможность сгорания (взрыва) дрейфующего облака, и соответствующие данному процессу зоны поражения с учетом допущений.

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, значительно отличаются от расстояний, зарегистрированных при авариях, а результаты расчета по модели [11] имеют меньший набор исходных данных и принятых допущений по сравнению с моделями расчета последствий аварий на МН и МТ СУГ.

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 гильо-

<sup>1</sup> Изменение № 3 в СНиП 2.05.06—85 «Магистральные трубопроводы», утв. постановлением Минстроя России от 10 ноября 1996 г. № 18-78.



▲ Рис. 1. Дерево событий при разгерметизации подземного участка МТ с нефтью, нефтепродуктом

тинного разрыва трубопровода) и все возможные исходы аварий на основе дерева событий, пример которого для МН представлен на рис. 1 [14].

При моделировании распределения в пространстве зон действия поражающих факторов учитываются вероятность возникновения аварии и условная вероятность развития аварии по тому или иному сценарию (на рис. 1  $c, f, g, h$ ). 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 [3]) или обосновываются в проектной документации, исходя из опыта эксплуатации аналогичных объектов.

Практика использования КОР [6, 7] по модели, основанной на [11, 14], 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 трубопро-

воде (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 [11].

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

Также отметим слабое влияние расстояний между узлами запорной арматуры на рассчитанные максимальные зоны поражения при авариях на МТ

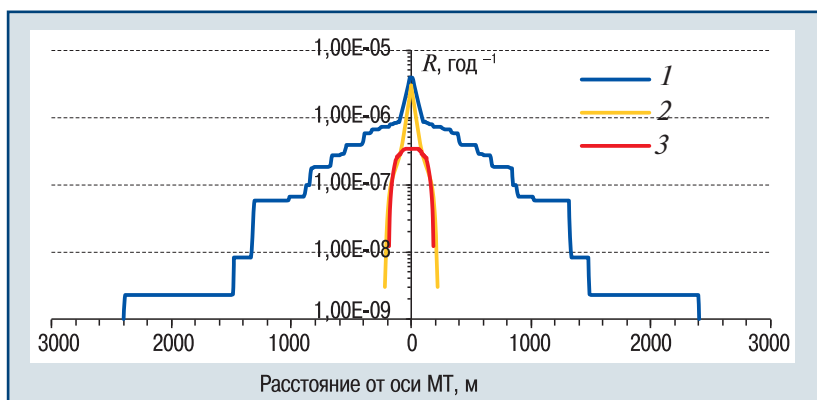
Таблица 2

Метеорологические условия*	Условная вероятность реализации метеоусловий для данной местности	Расстояние дрейфа, на котором достигается 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

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

СУГ диаметром более 300 мм (как и для МГ) при используемых данных статистики аварий и критериев приемлемого риска ( $1 \cdot 10^{-8}$ – $1 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>). Такой результат связан с тем, что безопасные расстояния обусловлены, как правило, сгоранием (взрывом) облаков, дрейфующих на значительные расстояния с сохранением способности к воспламенению: дальность дрейфа при образовании протяженных трещин в трубопроводе превосходит 500 м. Данные облака образуются от интенсивных струйных выбросов СУГ, в первые минуты после разрушения. За время перекрытия потока перекачиваемого вещества (2–5 мин и более) эти облака уже успевают сформироваться в атмосфере, тем самым показатели риска, обусловленные дрейфом этих облаков, становятся в значительной степени предопределенными<sup>1</sup>. Вместе с тем от размещения запорной арматуры зависит размер потерь перекачиваемого продукта и экологического ущерба.

На рис. 2 представлены зависимости потенциального риска гибели людей при авариях на отдельных участках МТ СУГ (ШФЛУ), МГ и МН от расстояния до оси этих трубопроводов.



▲ Рис. 2. Типичные профили потенциального риска  $R$  гибели людей на расстоянии до 2500 м от оси различных МТ: 1 – МТ СУГ (ШФЛУ) (DN 700,  $P=5,5$  МПа); 2 – МГ (DN 600,  $P=5,7$  МПа); 3 – МН (DN 1000,  $P=6,3$  МПа)

<sup>1</sup> Для рельефа местности, в котором отсутствуют овраги, низины и другие особенности, которые могут существенно увеличить размеры пролива и дрейф облаков в результате аварий на МН и МТ СУГ.

Из рис. 2 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 вероятностному 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 для проектируемых и реконструируемых продуктопроводов ШФЛУ.

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  $1 \cdot 10^{-8}$  год<sup>-1</sup>, 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 [9] или определенных 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 (<http://www.safety.ru/node/4>).

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 <sup>-1</sup>		
				1·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-7</sup>	1·10 <sup>-6</sup>
DN 250, P <sub>раб</sub> = 1,8 МПа	Самарская обл.	2000–3000	1050	990	460	230
DN 500, P <sub>раб</sub> = 3,3 МПа	Ямало-Ненецкий автономный округ	Не определено (для خطوط DN 400 — 3000–5000 м)	1150	1000	600	250
DN 700, P <sub>раб</sub> = 5,5 МПа	Ханты-Мансийский автономный округ	То же	2400	1340	850	350

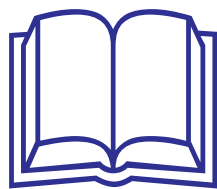
**Список литературы**

1. *Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» // Собр. законодательства Рос. Федерации. — 2010. — № 1. — Ст. 5.*
2. *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.*
3. *Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» // Собр. законодательства Рос. Федерации. — 2008. — № 30. — Ст. 3579.*
4. *ПБ 09-566—03. Правила безопасности для складов сжиженных углеводородных газов и легковоспламеняющихся жидкостей под давлением. — Сер. 9. — Вып. 18. — М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. — 76 с.*
5. *ПБ 09-540—03. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. — Сер. 9. — Вып. 11. — М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. — 112 с.*
6. *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.*
7. *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.*

8. *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.*
9. *СНиП 2.05.06—85\*. Магистральные трубопроводы. — М.: Госстрой, 1998.*
10. *Бесчастнов М.В. Оценка опасности перегретых жидкостей в трубопроводных системах большой протяженности // Безопасность труда в промышленности. — 1990. — № 12. — С. 19–24.*
11. *СТО Газпром 2-2.3-351—2009. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром».*
12. *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.*
13. *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.*
14. *РД-13.020.00-КТН-148—11. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах.*
15. *Pasquill F. Atmospheric Diffusion. — New York: J. Wiley, 1974. — 429 p.*

risk@safety.ru

**Вниманию авторов!**



От редакции

За публикацию научно-технических статей плата не взимается. Вознаграждение авторам не выплачивается. Один экземпляр журнала с опубликованной статьей высылается каждому автору. Статьи рецензируются. Отрицательные рецензии доводятся до сведения авторов.

Журнал выпускается в свет и в электронной версии.