

На правах рукописи



Гражданкин Александр Иванович

АНАЛИЗ ОПАСНОСТЕЙ И ОЦЕНКА РИСКА КРУПНЫХ АВАРИЙ
В НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

05.26.03 – «Пожарная и промышленная безопасность
(нефтегазовая отрасль)»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва - 2017

Работа выполнена в Закрытом акционерном обществе «Научно–технический центр исследований проблем промышленной безопасности» (ЗАО НТЦ ПБ). Адрес: 105082, г. Москва, Переведеновский пер., д. 13, стр. 14.

Научный консультант: **Печёркин Андрей Станиславович**, доктор технических наук, профессор, Закрытое акционерное общество «Научно–технический центр исследований проблем промышленной безопасности», первый заместитель генерального директора

Официальные оппоненты: **Попов Анатолий Иванович**, доктор технических наук, профессор, ЗАО «Технориск» (г. Саратов), заместитель генерального директора по науке

Ибадулаев Владислав Асанович, доктор технических наук, профессор, ООО «Научно-технический центр «Технологии и безопасности» (г. Санкт-Петербург), технический директор

Ларионов Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор, ООО «Центр исследований экстремальных ситуаций» (г. Москва), первый заместитель генерального директора

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (ФГБОУ ВО "УГНТУ", г. Уфа)

Защита состоится 23 мая 2018 г. в 11:00 часов на заседании диссертационного совета Д 355.001.01 при Научно–техническом центре исследований проблем промышленной безопасности (ЗАО) по адресу: 105082, г. Москва, Переведеновский пер., д. 13, стр. 14.

Тел. (495) 620–47–50; эл. почта: gra@safety.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ЗАО «Научно–технический центр исследований проблем промышленной безопасности» (http://disser.safety.ru/uploads/dissertation/main_file/9/dissertaciya.Grajdankin.pdf), а также на сайте ВАК при Минобрнауки России (<http://vak.ed.gov.ru>).

Отзывы на автореферат диссертации (в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения) направлять по адресу: 105082, г. Москва, Переведеновский пер., д. 13, стр. 14. Копии отзывов высылать на e-mail: gra@safety.ru.

Автореферат разослан «__» апреля 2018 г.

И.о. ученого секретаря
диссертационного совета,
доктор технических наук

И.А. Кручинина

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Промышленная разработка полезных ископаемых начала масштабно складываться в России с петровских времен. Расширение добычи быстро вскрыло первые проблемы безопасного труда сначала в горном деле, а затем в фабричном и промышленном производстве. Вопросы обеспечения безопасности остро вставали в периоды советской индустриализации, послевоенного восстановления и промышленного развития. Обширный отечественный противоаварийный опыт стал научно-технической основой российской системы обеспечения промышленной безопасности опасных производственных объектов (далее – ОПО).

С началом реформ 1990-х гг. в нефтегазовом комплексе (далее – НГК) страны участились крупные аварии, указывающие на кризисные упущения в предупреждении известных и новых промышленных опасностей. Несмотря на фиксируемые тенденции снижения среднегодовой аварийности, на ОПО НГК растут угрозы крупных промышленных аварий (далее – крупные аварии). Трагические аварии при добыче, переработке, хранении и транспортировке нефти и газа становятся источниками новых знаний для обеспечения предупредительных мер промышленной безопасности.

Сократить рост угроз крупных аварий только традиционными подходами полностью не удается – необходимы дополнительные и специальные организационно-технические меры, извлекаемые из уроков крупных аварий.

Современное развитие отечественной промышленности требует безопасной технологической модернизации. Ставятся актуальными исследования изменяющихся техногенных опасностей промышленных аварий и всей действующей системы обеспечения промышленной безопасности для разработки и реализации долгосрочных риск-ориентированных мер предупреждения угроз крупных аварий на современных высокорисковых ОПО НГК – наиболее энергоемких и аварийноопасных.

Степень разработанности темы исследования. В конце XX в. зарубежные исследования опасности промышленных аварий активно велись после тяжелых катастроф в Фликсборо (1974), Севезо (1976), Мехико и Бхопале (1984), Северном море (1988), результатом которых стали директивы Севезо I и II (1982, 1996), Конвенции о трансграничном воздействии промышленных аварий (ОНН-1992) и предотвращении крупных промышленных аварий (МОТ-1993), которые послужили основой разработки и широкого внедрения наряду с традиционными детерминистскими и вероятностными методов анализа опасностей: Т.А. Клетц (1978), Ф.Р. Фармер (1978), Ф.П. Лис (1980), Р. Кини (1980), П. Лагадек (1981), Э. Дж. Хенли и Х. Кумамото (1984), В. Маршалл (1989) и мн. др. Советские техногенные катастрофы в Чернобыле (1986), Уфе (1989), Ионаве (1989) ускорили методологический переход от традиционной техники безопасности к системному обеспечению промышленной безопасности

(В.И. Сидоров, Е.В. Кловач, 1994). По этой проблематике известны базисные работы признанных советских ученых по методологии (В.А. Легасов, 1987), психологии (М.А. Котик, 1981) и практике (М.В. Бесчастнов, 1979) обеспечения безопасного труда в промышленности. Важный вклад в научно-техническое обеспечение безопасности промышленного производства внесли труды видных советских исследователей: О.А. Ривош (1927), В.Л. Биленко (1926–1936), А.А. Скочинский (1933–1954), П.И. Синев (1939), М.Г. Годжелло (1952), Ф.Н. Загорский (1955), А.Ф. Власов (1961), А.И. Розловский (1972), Е.Я. Юдин (1974), С.И. и И.С. Таубкины (1976), И.А. Рябинин (1981), П.С. Савельев (1983), В.Л. Бард и А.В. Кузин (1984), В.А. Кравец (1984), С.В. Белов (1985), Р.А. Перелет и Г.С. Сергеев (1988), Б.Н. Порфирьев (1991) и мн. др. С 1997 г. в России действует федеральное законодательство в области промышленной безопасности, в методической разработке и научно-технической реализации которого активное участие принимали и принимают российские научные школы: ВНИИГАЗ, ВНИИПО, ВНИИГОЧС, ИМАШ РАН, ИПКОН РАН, ЗАО НТЦ ПБ, ЛВМ-ВМА-СПб, МГТУ, МИСиС, НИИ Транснефть, НИЦ «НИР БСМ», РГУ нефти и газа, СПГУ, СГТУ, ТюмГНГУ, УГНТУ и др. Вместе с тем в распространявшихся процедурах анализа риска аварий принято оперировать, как правило, агрегированными усредненными параметрами, не являющимися представительными показателями угроз крупных аварий, изменяющаяся структура опасностей которых изучена недостаточно.

Основные идеи диссертационной работы. Необходим проблемный анализ возникновения и роста угроз крупных аварий в нестабильных индустриальных технико-социальных системах высокопасных производственных объектов НГК как индикаторов кризисных явлений. Изменения опасностей и рост угроз крупных аварий целесообразно исследовать в научно-техническом контексте зарождения, развития и кризиса индустриализма в XX–XXI вв., а также с учетом научно-технических и технологических особенностей отечественной культуры безопасности промышленного производства.

Цель диссертационной работы – разработка методических подходов анализа опасностей и оценки риска крупных аварий в нефтегазовой промышленности для риск-ориентированного предупреждения их угроз в системе обеспечения промышленной безопасности опасных производственных объектов нефтегазового комплекса.

В качестве основного *объекта* исследования выбрана технико-социальная система поднадзорных ОПО НГК, а *предмета* – основные закономерности возникновения угроз крупных аварий и особенности обеспечения промышленной безопасности в современных условиях состояния и развития отечественного НГК.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие **основные задачи**:

- 1) провести ретроспективный и сравнительный анализ возникновения, изменения и современного состояния научно-технической проблемы угроз крупных аварий;

2) провести научно-технический анализ опасностей и новых угроз крупных аварий в нефтегазовой промышленности, разработать и оценить фоновые риск-ориентированные показатели их опасностей на объектах нефтегазодобычи, нефтегазопереработки, магистрального трубопроводного транспорта (далее – МТТ);

3) разработать риск-ориентированные научно-методические подходы анализа опасностей и оценки риска крупных аварий для определения степени аварийной опасности, классификации аварийных происшествий, установления допустимых уровней риска и обоснования безопасности ОПО НГК;

4) разработать концепцию информационно-аналитической системы риск-ориентированного предупреждения угроз крупных аварий на ОПО НГК и смежных отраслей промышленности.

Методология и методы диссертационного исследования. При решении поставленных задач наряду с общенаучным методом системного анализа и синтеза в работе применялись специальные методы теории вероятностей, математической статистики, анализа опасностей и оценки риска аварийных происшествий, а также методология системного анализа безопасности сложных технико-социальных систем.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Необходимые и достаточные предпосылки современных крупных аварий определяются накопленным фондом обращающихся в промышленности энергии и опасных веществ, изменениями информационных связей технологических процессов и вектором реформирования индустриальных структур предвидения и противодействия угрозам аварий при модернизации требований промышленной безопасности.

2. Наиболее тяжелые и опасные промышленные аварии происходили в России на этапах индустриализации и реформ, ставших новым источником опасностей. Традиционные индикаторы аварийности и травматизма необходимо дополнять специальными риск-ориентированными показателями опасности крупных аварий: удельными для отдельных ОПО и абсолютными для отраслевой системы ОПО НГК.

3. Модернизация норм и правил безопасности через обоснованное отступление от действующих требований промышленной безопасности допустима только после всестороннего анализа опасностей крупных аварий и угроз изменения норм: необходимо компенсировать снижение противоаварийной защищенности при отклонении от действующей нормы с помощью дополнительных требований безопасности и(или) изменением структуры оставшихся ограничений; достаточно доказать отсутствие снижения защищенности вследствие неучтенного изменения структуры опасностей аварии и(или) неактуальности отдельных аварийных угроз.

4. В современных условиях противоаварийная защищенность от угроз крупных аварий должна методически основываться на риск-ориентированном анализе

безопасности систем ОПО НГК в нестабильных состояниях перехода «опасность–угроза» с динамическим категорированием ОПО НГК по степени риска крупных аварий и со статической классификацией опасности ОПО НГК.

Степень достоверности результатов. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечиваются: базированием на доказанных и корректно используемых выводах фундаментальных и прикладных наук в области системного анализа безопасности сложных технико-социальных систем; комплексным использованием известных, проверенных практикой теоретических и апостериорных методов исследования техногенных опасностей промышленной деятельности; согласованием новых положений с уже известными теоретическими положениями и практическими данными в области обеспечения промышленной безопасности; публикациями в рецензируемых научно-практических изданиях; обсуждением результатов диссертации на научных семинарах и научно-технических советах специализированных организаций; использованием результатов в отечественной практике анализа риска и обоснования промышленной безопасности.

Научная новизна диссертационной работы:

1. На основе ретроспективного исследования проявлений аварийности в середине XX–начале XXI вв. в НГК и смежных отраслях топливной промышленности впервые предложена риск-ориентированная модель структуры современных опасностей крупных аварий, включающая оценку значимости возможности социальных, хозяйственных аварийных потерь и их поставарийных статусных последствий, существенно влияющих на промышленную безопасность при проектировании, эксплуатации и технологической модернизации высокоопасных производств НГК.

2. Впервые получены научно обоснованные оценки разработанных риск-ориентированных индикаторов аварийных опасностей в российской нефтедобывающей промышленности, в нефтегазопереработке и на магистральном трубопроводном транспорте, показавшие существенное возрастание угроз крупных аварий в 1990-х гг.

3. Впервые для ОПО НГК разработано новое нормативное и методическое обеспечение риск-ориентированного обоснования безопасности (далее – ОБ), включающее модель обеспечения условий безопасной эксплуатации при отступлении от действующих требований промышленной безопасности, методику установления допустимого риска аварии для оценки достаточности компенсирующих мер безопасности, методические рекомендации по классификации аварийных происшествий и процедуру категорирования ОПО НГК по степени риска крупных аварий.

4. Предложена новая научно-техническая концепция информационно-аналитической системы риск-ориентированного предупреждения угроз крупных аварий в отраслевой системе поднадзорных ОПО НГК с классификатором их по степени риска аварийных происшествий и динамической картой опасностей крупных аварий,

необходимая для антикризисного обеспечения безопасной технологической модернизации российских высокорисковых объектов нефтегазовой промышленности.

Степень новизны результатов исследования определяется: обстоятельным изучением литературы по предмету исследования с анализом исторического развития проблемы возникновения и предупреждения угроз крупных аварий; рассмотрением, критическим анализом и сопоставлением существующих точек зрения на проблему анализа риска крупных аварий; вовлечением в научный оборот упорядоченного фактического материала об отечественных и зарубежных крупных авариях; детализацией тенденций проявления крупных аварий в переходных условиях.

Вклад автора в проведенное исследование заключается в постановке и достижении цели, конкретизации и выполнении задач, получении основных теоретических и практических результатов исследования проблемы угроз крупных аварий в современных российских условиях. Автором инициировалось проведение исследований в рамках настоящей тематики, а для работ, выполненных в соавторстве, осуществлялись анализ и обобщение результатов. Автор выражает искреннюю благодарность за помощь в исследованиях ученым и специалистам московской научно-инженерной школы «Промышленная безопасность» под рук. проф. В.И. Сидорова, а также всем исследователям из отечественного сообщества специалистов и экспертов по промышленной и пожарной безопасности.

Теоретическая значимость результатов исследования заключается в: разработке риск-ориентированной модели структуры техногенных опасностей крупных аварий, включающей оценку значимости возможности социальных, хозяйственных и репутационных аварийных потерь; формировании риск-ориентированной терминологии в сфере обоснования безопасности; создании концепции информационно-аналитической системы риск-ориентированного предупреждения угроз крупных аварий в системе поднадзорных ОПО НГК; введении понятия о контролируемом противоаварийными системами предаварийном выбросе опасных веществ; разработке классификатора опасностей крупных аварий по степени риска.

Практическая значимость результатов исследования состоит в: разработке специальных подразделов действующих федеральных норм и правил в области промышленной безопасности (далее – ФНП), руководств по безопасности (далее – РБ) Ростехнадзора в области анализа риска аварий и обоснования безопасности; применении в специальных технических условиях проектирования, декларациях промышленной безопасности, обоснованиях безопасности, заключениях экспертизы промышленной безопасности риск-ориентированных индикаторов угроз крупных аварий, а также разработанных процедур установления допустимого риска аварии и обоснования условий безопасной эксплуатации при вынужденном отступлении от требований промышленной безопасности, их отсутствии или недостаточности для новых и

модернируемых технологий промышленного производства и обеспечения безопасности ОПО НГК.

Апробация работы. Основные материалы и результаты диссертационной работы широко представлялись более чем в 55 докладах и публичных научных дискуссиях на всероссийских и международных научных и практических конференциях и школах, в т.ч.: «Проблемы управления безопасностью сложных систем» (2001, 2004, Москва), «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций» (2002, Москва), «Взрывоустойчивость и взрывобезопасность промышленных, транспортных и гражданских объектов» (2003, Москва), «Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф» (2003, Красноярск), «Риск-менеджмент и страхование в ТЭК» (2004, 2005, 2006, Москва), «Управление рисками и устойчивое развитие ЕСГ России» (2005, Москва), «Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта» (2006, 2012, Новополоцк), «Междисциплинарные исследования проблем обеспечения безопасности жизнедеятельности населения в современных условиях» (2007, Москва), «Актуальные проблемы регулирования природной и техногенной безопасности в XXI веке» (2005, Москва), «Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах» (2002, 2003, 2005, 2006, 2008, СПб), «Проблемы безопасности критичных инфраструктур муниципальных образований и территорий» (2007, 2009, 2012, Екатеринбург), «VIII. Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России» (2010, РГУ им. И.М. Губкина, Москва), «Национальная безопасность: научное и государственное управление содержание» (2009, Москва), «II. Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» (2014, СПб), «XX. Глобальная и национальные стратегии управления рисками катастроф и стихийных бедствий», МЧС России (2015, Москва), «Актуальные вопросы промышленной безопасности», Ростехнадзор (2015, 2016, 2017, Москва). Ключевые положения работы неоднократно докладывались на постоянно действующем с 2002 г. научном семинаре «Промышленная безопасность», на ежегодных научно-практических семинарах «Об опыте декларирования промышленной безопасности и развитии методов оценки риска опасных производственных объектов», а также на Научно-техническом совете Ростехнадзора и научно-технических советах и совещаниях ведущих нефтегазовых компаний («Транснефть», «Газпром нефть», «Эксон Мобил» и др.).

Реализация работы. Результаты исследований использованы при разработке следующих документов:

РД-03-14-2005. «Порядок оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечень включаемых в нее сведений» (утв. приказом Ростехнадзора от 29.11.2005 № 893) – разд. IV, VI, прил. № 1;

РД-13.020.00-КТН-148-11. «Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах» (утв. ОАО «АК «Транснефть» 17.10.2011) – разд. 3, 5;

ФНП «Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта» (утв. приказом Ростехнадзора от 15.07.2013 № 306) – пп. 10, 11 разд. II;

РБ «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности» (утв. пр. Ростехнадзора от 27.12.2013 № 646, от 29.06.2016 № 272) – разд. II, III, прил. № 2;

Концепция (состав и структура) комплексной системы выявления, анализа и прогнозирования опасностей промышленных аварий, оценки риска и возможных масштабов последствий аварий на опасных производственных объектах, в том числе на объектах ТЭК и смежных отраслей промышленности (Государственный контракт № 32-ГК/2014 от 27.06.2014 г., согласована Ростехнадзором 31.12.2014 г.) – все разд.;

РБ «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов» (утв. приказами Ростехнадзора от 07.11.2014 № 500, от 17.06.2016 № 228) – разд. II, III;

РБ «Методические рекомендации по разработке обоснования безопасности опасных производственных объектов нефтегазового комплекса» (утв. приказом Ростехнадзора от 30.09.2015 № 387) – пп. 25–27 разд. IV, прил. № 2;

РБ «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» (утв. приказами Ростехнадзора от 13.05.2015 № 188, от 11.04.2016 № 144) – разд. II, III, IV, прил. № 1, 2, 6, 7;

РБ «Методика установления допустимого риска аварии при обосновании безопасности опасных производственных объектов нефтегазового комплекса» (утв. приказом Ростехнадзора от 23.08.2016 № 349) – все разд.;

РБ «Методические рекомендации по классификации техногенных событий в области промышленной безопасности на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса» (проект одобрен НТС Ростехнадзора, поручение от 31.05.2017 №00-06-07/1388) – прил. № 2, 3, 4.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 114 печатных трудов, в т. ч. 12 монографий и 64 статьи в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки России.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 331 страницах машинописного текста и содержащих 63 рисунка и 33 таблицы, списка сокращений, словаря терминов и списка использованной литературы из 322 источников.

Основное содержание работы

Во *введении* обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, определены объект и предмет исследования, показаны научная новизна и практическая значимость работы в обеспечении промышленной безопасности в системе безопасности Российской Федерации, очерчено место решаемых задач в предметной области исследования.

В *главе 1* проведен ретроспективный анализ возникновения и постановки проблемы возрастания угроз крупных аварий на характерных примерах известных углеводородных промышленных катастроф в НГК и смежных отраслях добывающей и топливной промышленности в разных индустриальных странах.

Крупная авария – техногенное происшествие с последствиями или угрозой последствий катастрофического характера, непоправимых для самого объекта и(или) его окружения и связанных с гибелью людей, причинением материального ущерба и(или) вреда окружающей среде – более 10 погибших, более 100 пострадавших, введение режима ЧС или призыв к международной помощи.

С 1960-х гг. в мире неуклонно увеличивается количество промышленных аварий и погибших в них людей – к началу XXI в. рост в 62 и в 10 раз соответственно. Уже с 1980-х гг. промышленные аварии в мире начинают доминировать среди других видов техногенных катастроф по числу пострадавших и оцененному ущербу. В начале XXI в. в промышленных авариях регистрировалось до 80 % пострадавших и более 95 % оцененного материального ущерба всех техногенных катастроф (Рис. 1).

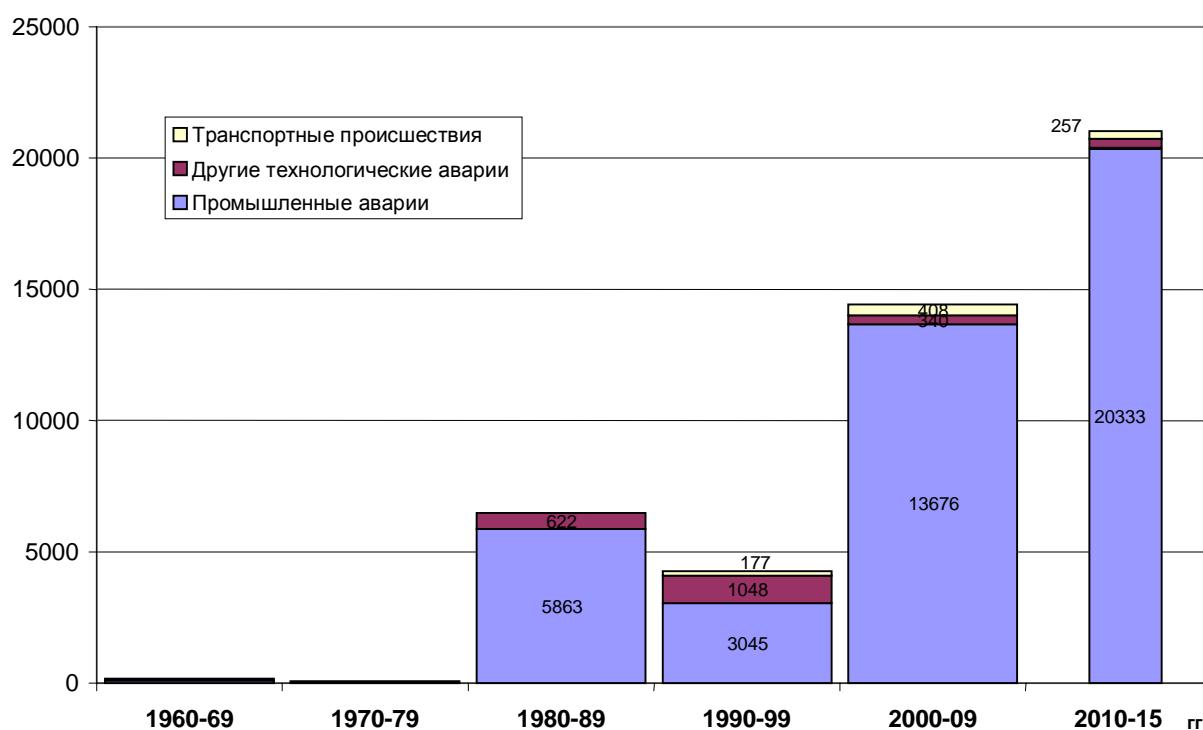


Рис. 1. Оцененный ущерб техногенных катастроф в мире в XX–XXI вв., млн \$

На переломе ХХ–XXI вв. опасности промышленных аварий стали перемещаться из высокоразвитых в развитые и развивающиеся страны. В 1970-х гг. на страны БРИКС приходилось в среднем треть погибших в авариях, в 1980-х гг. до 60 %, в 2000-х гг. до 70 %. Материальные потери в основном заявляются в высокоразвитых странах: в 1990-х гг. – свыше 90 % сумм мирового оцененного ущерба, в 2000-х гг. – до 85 %.

Крупные аварии происходили и происходят в наиболее энергооруженных отраслях промышленности, ОПО которых исторически находятся в сфере государственного надзора: в Западной Европе – по директивам Севезо I, II и III (1982, 1996, 2015); а в России – в соответствии с Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (1997, № 116–ФЗ).

Традиционный набор параметров, показывающих аварийные опасности, включает общее количество регистрируемых аварий (возможность события) и частные характеристики их последствий (тяжесть события). На уровне отдельного ОПО НГК эти индикаторы (и возможность, и тяжесть) соотносят с риском аварии: анализируют широкий спектр возникновения и развития аварий и дают оценку в основном математического ожидания случайной величины ущербов от них. Опасности и вызревание угроз крупных аварий в таком подходе плохо видны.

Быстро изменяются и сильно различаются показатели и критерии опасностей крупных аварий в высокоразвитых, развитых и развивающихся индустриальных странах. Модельная структура индексной оценки опасности крупных аварий $R_{\text{КПА}}$ может быть представлена как

$$R_{\text{КПА}} = C P_C k_C + \Pi P_\Pi k_\Pi + Y P_Y k_Y, \quad (1)$$

где C – смертельные потери от крупных аварий;

Π – потери пострадавших от крупных аварий;

Y – материальный ущерб от крупных аварий;

P_C, P_Π, P_Y – возможность возникновения характерных потерь от крупных аварий;

k_C, k_Π, k_Y – соразмерные коэффициенты значимости характерных потерь от крупных аварий, показывающие значимость восприятия угроз их причинения.

Крупные аварии с сходными значениями (P_C, P_Π, P_Y) и (C, Π, Y) могут иметь совершенно разные показатели опасности в одной стране в разные периоды или в разных странах в одно время вследствие изменения восприятия значимости их угроз.

В высокоразвитых странах основным слагаемым в показателе аварийной опасности все более становится материальный ущерб, а число пострадавших и погибших утрачивает самостоятельную ценность и включается в ущерб в виде стоимости «человеческой жизни». Порог восприятия групповой гибели людей в крупной аварии постоянно снижается средствами культуры (и технической, и информационной) и сегодня, по результатам анализа сообщений СМИ о крупных авариях (частота упоминаний, объем текста и рейтинг источника), находится в развитых странах на уровне групповой гибели в 20–25 человек в одной крупной аварии.

В развивающихся странах ситуация с оценкой значимости крупных аварий иная. Например, жертвы нигерийских крупных аварий часто выставляют вандалами, варварски расхищающими нефть и нефтепродукты из высокотехнологичных экспортных трубопроводов (оценивается заметным понижением коэффициентов k_C и k_{Π}). Факт наличия пострадавших и погибших не из числа персонала существенно увеличивает оценку опасности крупных аварий (оценивается ростом коэффициентов k_C и k_{Π}).

Для разработки предложенной риск-ориентированной модели структуры опасностей крупных аварий в работе проанализированы обнаружение, постановка и современное состояние проблем предупреждения опасностей крупных аварий.

Исторически первые крупные аварии проявились в период промышленных революций XVIII–XX вв. Ископаемый уголь стал энергетической базой индустриализации, а добыча угля – источником первых крупных аварий. В конце XIX – начале XX в. произошли первые особо крупные аварии с групповой гибелью более 200, 400 и даже 1000 человек (Англия, Германия, Уэльс, Франция). Более ста лет, в XIX–XX вв., тяжелые угольные катастрофы с гибелем свыше 100 человек сопровождали индустриально развитые страны Западной Европы, Северной Америки и Японию (в 105 подземных катастрофах погибло более 22 тыс. человек).

С середины XX в. крупные аварии из шахт и рудников перемещались на поверхность промышленных площадок новых энергонасыщенных производств. В 1970–1980-х гг. сложность и энергоемкость объектов перерастают имевшийся инструментарий обеспечения надежности отдельных технических устройств. Всплеск новых крупных аварий зафиксирован на объектах химической и нефтехимической промышленности, энергетики и добывающей нефти и газа (Табл. 1).

Табл. 1.

Основные периоды индустриализма и характерные примеры крупных аварий

<i>Периоды промышленного развития «энергия и материал»</i>	<i>Поздний преиндустриализм «вода, дерево, камень, металл» (до ~XVI в.)</i>	<i>Классический индустриализм «уголь и сталь» (~XVI–XX вв.)</i>	<i>Позднеклассический индустриализм «нефть и пластик» (конец XX – начало XXI в.)</i>	<i>Ранний постиндустриализм «углеводороды и композит» (XXI в. – ...)</i>
<i>Доминирующий отраслевой уклад для крупных аварий</i>	Горнорудная добыча	Каменноугольная промышленность	Нефтегазовая, химическая промышленность, энергетика	
<i>Характерные примеры известных крупных аварий</i>	<p>1376 г. – обвал в руднике «Rammelsberg», г. Гослар, Германия (> 100 погибш.);</p> <p>1448 г. – затопление рудника «Heilig-Kreuz-Stollen», г. Швац, Австрия (> 260 погибш.);</p> <p>1565 г. – обвал в руднике «Der Goldene Esel», г. Злоты-Сток, Силезия (> 95 погибш.)</p>	<p>1866 г. – ш. Oaks, Барнсли, Англия (361 погибш.);</p> <p>1906 г. – ш. Courrières, Нор-Па-де-Кале, Франция (1099 погибш.);</p> <p>1907 г. – ш. Monongah, ш. Но. 6&8, Зап. Виргиния, США (362 погибш.);</p> <p>1942 г. – ш. Honkeiko, Маньчжурия, Япония (Китай) (1549 погибш.);</p> <p>1963 г. – ш. Mitsui Miike, Омута, Кюсю, Япония (458 погибш.)</p>	<p>1978 г. – Сан-Карлос, Испания, взр. пропилена (215 погибш.);</p> <p>1988 г. – взрыв на Piper Alpha, Северное море (167 погибш.);</p> <p>1984 г. – Бхопал, Индия, выброс метилизоцианата (>2тыс. погибш.);</p> <p>1989 г. – Уфа, СССР, взрыв ЦФЛУ (575 погибш.)</p>	<p>2007 г. – ш. им. А.Ф. Засядько, Донецк, Украина (101 погибш.);</p> <p>2009 г. – СШ ГЭС, Хакасия, РФ (75 погибш.);</p> <p>2010 г. – нефт. платф. Deepwater Horizon, Луизиана США (11 погибш.);</p> <p>2010 г. – ш. «Распадская», Кузбасс, РФ (91 погибш.);</p> <p>2014 г. – ш. «Soma», Маниса, Турция (301 погибш.)</p>

Крупные аварии в 1960–1980 гг. во многом сигнализировали о соприкосновении с пределом современного промышленного развития и фактически стали вызовом механицистским постулатам классического индустриализма (внесвязность– обратимость–экспансия), которые подспудно питали промышленные революции и научно-технический прогресс в XVIII–XX вв. (см. Табл. 1). Крупные аварии стали предвестниками постиндустриального перехода.

Для выявления угроз крупных аварий целесообразно оперировать их условным числом, включающим весовые показатели групповой летальности, размера аварийного ущерба и нарушений условий жизнедеятельности, соотнесенных с результативностью производственной деятельности. Такое условное среднеотраслевое число крупных аварий становится во многом и показателем репутационных потерь от ненадлежащего предупреждения угроз крупных аварий.

Уникальность и редкость крупных аварий, особенно в НГК, ограничивают применение для оценки их опасности традиционных показателей аварийности и травматизма. Более пригодным индикатором их опасности может служить условное число крупных аварий $N_{\text{КПА}}^M$ в отдельных отраслях НГК, т.е. репутационный показатель угрозы крупных аварий, агрегирующий опасность коллективного поражения людей, размер аварийного ущерба и масштаб производственной деятельности:

$$N_{\text{КПА}^M} = \frac{C/Z_C + \Pi/Z_\Pi + Y/Z_Y}{M}, \quad (2)$$

где Z_C – условная крупность аварии по числу погибших;

Z_Π – условная крупность аварии по числу пострадавших;

Z_Y – условная крупность аварии по материальному ущербу;

M – масштабность производственной деятельности.

В отличие от простого числа обычно учитываемых крупных аварий в международных базах данных условное число $N_{\text{КПА}}^M$ несет информацию о тяжести аварии с учетом изменения ее восприятия. Оцененная в работе динамика условного числа крупных аварий $N_{\text{КПА}}$ в европейской нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности (при $Z_C=5$ чел., $Z_\Pi=50$ чел., $Z_Y=400$ тыс. евро) выявляет периоды «ремиссии» крупной аварийности в середине–конце 1980-х гг., в конце 1990-х гг., в конце 2000-х гг. и в середине 2010-х гг. Эти малоаварийные периоды примечательны латентным вызреванием угроз крупных аварий, уже трагически проявившимися в начале–середине 1990-х гг. и в начале–середине 2000-х гг. Для решения задач предупреждения крупных аварий более проблематичны именно длительные периоды латентной безаварийности, ослабляющие эффективность оргтехмероприятий промышленной безопасности.

Динамика проявления опасностей крупных аварий в мировом НГК в целом за 1950–2010-е гг. представлена на Рис. 2. Сравнение данных европейского и мирового НГК по реализовавшимся опасностям крупных аварий дополнительно подтверждает,

что эта проблема перемещается в основном в страны БРИКС и является весьма актуальной для современной России, несмотря на ниспадающие общемировые и европейские тренды.

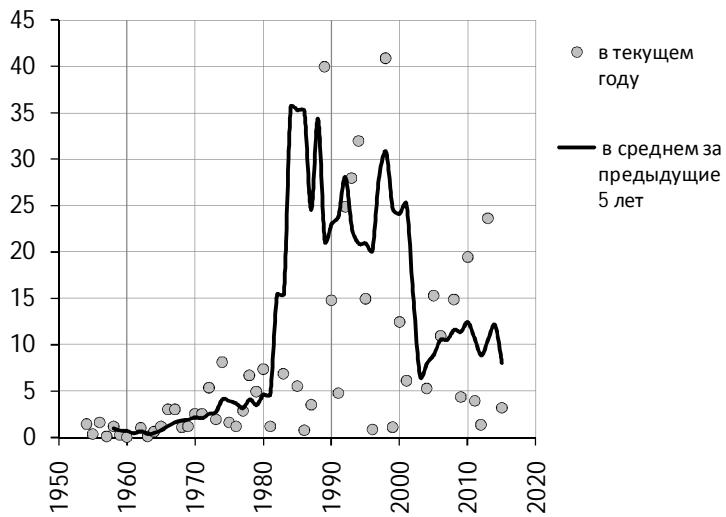


Рис. 2. Условное число крупных аварий ($Z_C=25$ чел., $Z_P=125$ чел., $Z_y=400$ тыс. евро) в мировом НГК

Ретроспектива зарубежных и российских крупных аварий выявляет отличительные особенности формирования норм безопасности для отечественных ОПО НГК. Освоение новых технологий проходит первоначально и на уровне заимствования зарубежных подходов в нормах безопасности, но далее происходит их локализация, особенно при исследовании допущенных аварий. Если количество и тяжесть аварий растут, то неадекватные нормы быстро трансформируются в отраслевые защиты.

Современное состояние опасностей крупных аварий определяется особенностями индустриального развития страны и степенью ее адаптации к кризисным условиям. В крайних случаях крупные аварии замедляют и пресекают промышленную деятельность, ведут к угасанию технической культуры безопасности, а с ней и всего самобытного жизнеустройства индустриальной страны. Необходимые и достаточные предпосылки опасностей крупных аварий определяются: базовым возрастающим размером накопленных и обращающихся в промышленном производстве энергетических потоков; износом основных фондов и кадровым обеспечением; модернизацией функциональных структур обнаружения и предупреждения опасностей, что проявляется в техно-социальном кризисе культуры безопасного промышленного производства (техрегулирование безопасности, сдвиг от предупреждения к ликвидации последствий).

Современная проблема роста катастрофических угроз крупных аварий определяется в основном неадекватностью и недостаточностью только традиционных мер противоаварийной защищенности в переходных и кризисных условиях.

Во *главе 2* представлен аналитический обзор опасностей и угроз крупных аварий на российских ОПО НГК и топливной промышленности, которые имеют тенденцию существенно изменяться и обостряться в переходных технологических и социально-

экономических модернизациях. И качественно, и количественно опасности крупных аварий соподчинены текущему состоянию промышленности, следуют за ее изменениями, сигнализируют об угрозах технологических застоев и неподготовленных новшеств.

Специфические опасности крупных аварий угрожающие обнажались в индустриальной России в разные волны модернизаций. В отличие от относительно малых и постоянных угроз, которые предметно исследуются в охране труда, технике безопасности и промышленной экологии, внезапные и достаточно редкие крупные аварии всегда сигнализировали не только о локальных технологических упущениях, но и о более фундаментальных социально-технических угрозах при выборе того или иного вектора модернизации страны в целом, а не только ее промышленного базиса.

С 1990-х гг. индустриальная Россия снизила долю основных добываемых топливно-энергетических полезных ископаемых, остающихся на потребление после экспорта энергоресурсов, например, по нефти и нефтепродуктам с 70 до 30 %. В годы реформ в хозяйство и промышленность РФ поступало существенно меньше «исходной» энергии, поэтому аварийность в среднем снижалась. Но перераспределение в реформы информационных и энергетических потоков в системе поднадзорных ОПО НГК увеличило проявления угроз крупных аварий.

Суверенная модернизация российской промышленности требует отказа от сырьевой модели экспортных поставок энергии, которая необходима для организации современного материального производства и быта. Будущий рост промышленного энергопотребления требуется защитить от угроз крупных аварий, исследуя российский опыт и уроки аварий.

На Рис. 3 представлены результирующие оценки динамики индексов (1997 г. = 100) удельной аварийности в поднадзорных отраслях ОПО НГК России за 1990–2010-е гг.: среднее за предыдущие 5 лет число аварий, соотнесенное с масштабом производства.

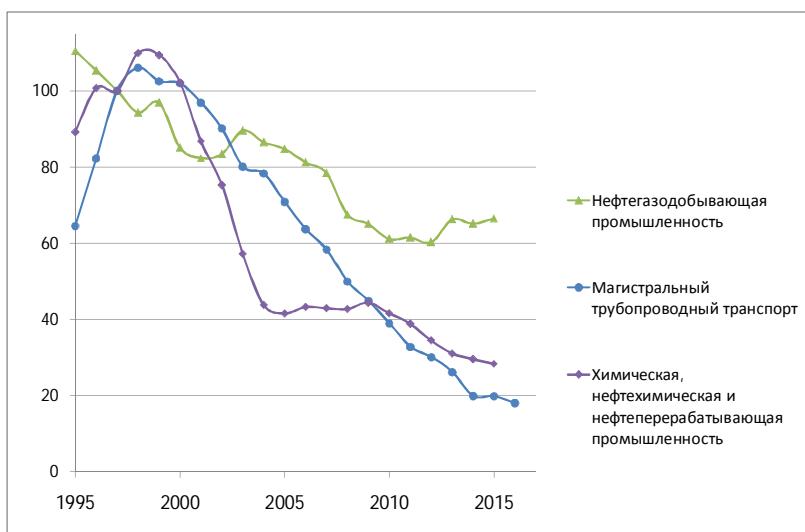


Рис. 3. Индексы удельной аварийности на ОПО НГК (1997 г. = 100)

В 1997 г. удельная аварийность составляла: на нефтегазодобывающих производствах – 17 аварий на 1 млрд т добычи условного топлива; на МТТ – 29 аварий на 1 трлн ткм грузооборота; в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности – 16 аварий на 100 млн т произведенной продукции; на объектах газораспределения и газопотребления – 9 аварий на 100 млрд м³ потребляемого газа.

При наблюдавшемся промышленном спаде в середине 1990-х гг. количество аварий должно было снижаться гораздо сильней, а наблюдался даже рост по удельным величинам. Тенденция планомерного снижения аварийности на ОПО НГК оформилась с началом реализации положений 116-ФЗ. Когда производственная система резко изменяется, типовые сведения об аварийности и травматизме перестают быть показательными (количество аварий, травм и т.п.). Изменения фоновых показателей аварийности, соотнесенной с масштабом производственной деятельности, – представительные индикаторы эффективности использования традиционных и рисково-ориентированных подходов регулирования промышленной безопасности.

В работе проанализирована динамика изменений объемов производства и аварийности на примерах добывающей и топливной промышленности России, в т.ч. в нефтегазодобывающем комплексе, на МТТ и в нефтегазопереработке.

Основные результаты исследованных тенденций промышленных опасностей на ОПО нефтедобычи представлены на Рис. 4. В 1990–1999 гг. наблюдался резкий спад добычи нефти с 516 до 305 млн т, но абсолютный смертельный производственный травматизм практически не снижался – находился на уровне 20–28 погибших/год, а относительный – рос в 1991–1994 гг. (с 5,2 до 8,8 смертей/100 млн т добытой нефти) и стагнировал в 1995–2000 гг. (на уровне ок. 7 смертей/100 млн т).

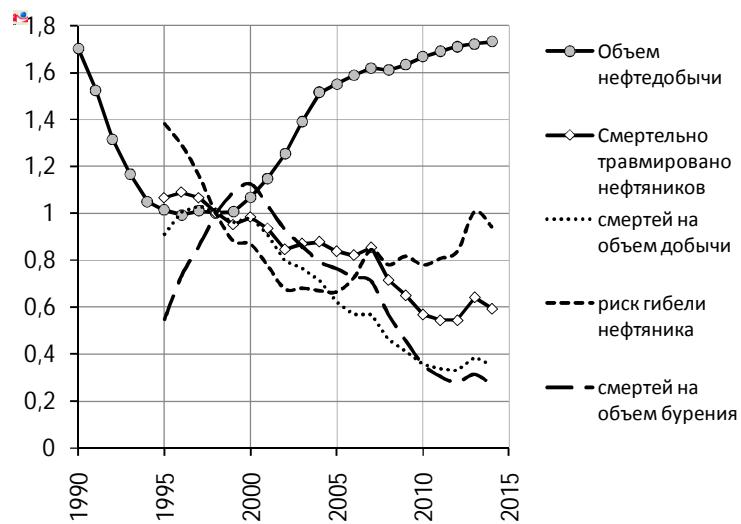


Рис. 4. Объемы добычи и показатели смертельного травматизма на опасных производствах нефтедобывающей промышленности России, отн. ед. (1998 г.=1)

С 1990 г. резко падали объемы наиболее аварийноопасных операций бурения на нефть: эксплуатационного – более чем в 3 раза (вплоть до 2002 г.) и разведочного – более чем в 5 раз. Количество аварий в отрасли снизилось к 2002 г. примерно в 2 раза. С

возобновлением эксплуатационного бурения (увеличение в ~2 раза от минимума 1996 г.) и при стагнации разведочного бурения в 1998–2014 гг. наблюдалась рост (в ~1,5 раза), а затем стабилизация ежегодного количества аварий. Вместе с тем частота аварий при эксплуатационном бурении в 3–4 раза ниже, чем при разведочном, а трудоемкость ликвидации – примерно в 1,5 раза.

Существенное снижение производительности труда к 2000 г. (в ~4 раза) обусловило снижение (тоже ~4-кратное) удельного смертельного травматизма в 1991–2002 гг. Последующее восстановление роста производительности труда в 2000–2013 гг. (в ~3 раза) сопровождалось почти 2-кратным ростом риска гибели нефтяников (см. Рис. 4).

В относительно стабильных условиях традиционные показатели аварийности и травматизма вполне пригодны для анализа и оценки опасности аварий. Если же основная производственная деятельность претерпевает существенные качественные и количественные изменения, то абсолютные индикаторы аварийности и травматизма необходимо дополнять риск-ориентированными показателями опасности аварий. Этот методический вопрос рассмотрен в исследовании на примере МТТ. Трубопроводный транспорт занимает в РФ лидирующее положение по грузообороту – до половины уже с середины 1990-х гг. Нефть, нефтепродукты и природный газ – основные грузы МТТ.

Табл. 2

Основные транспортные и отдельные риск-ориентированные показатели аварийности и смертельного травматизма при транспортировке опасных веществ на ОПО МТТ

<i>Транспортные и риск-ориентированные показатели</i>	<i>Годы</i>								<i>В среднем за 2012–2016 гг.</i>
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<i>Количество аварий</i>	28	13	17	21	12	8	13	11	<i>13±4</i>
<i>Длина трубопроводов, тыс. км</i>	231,0	232,6	237,5	245,2	245,8	248,1	248,4	250,1	<i>248±2</i>
<i>Удельная интенсивность аварий, 1/(1000 км × год)</i>	0,12	0,06	0,07	0,09	0,05	0,03	0,05	0,04	<i>0,05±0,02</i>
<i>Грузооборот, млрд ткм</i>	2246	2382	2422	2453	2513	2423	2444	2486	<i>2460±30</i>
<i>Удельная частота аварий за год, 1/(млрд ткм)</i>	12,5	5,5	7,0	8,6	4,8	3,3	5,3	4,4	<i>5,3±1,7</i>
<i>Общий ущерб от аварий, млн руб.</i>	371,0	146,0	161,5	154,8	318,9	96,5	488,2	262,6	<i>130–400</i>
<i>Средний ущерб на 1 аварию, млн руб.</i>	13,3	11,2	9,5	7,4	26,6	12,1	37,6	23,9	<i>22±11</i>
<i>Удельный ожидаемый ущерб от аварии, млн руб./(1000 км × год)</i>	1,6	0,6	0,7	0,6	1,3	0,4	2,0	1,1	<i>1,1±0,5</i>
<i>Число смертельно травмированных</i>	1	3	2	1	0	2	2	0	<i>1,0±0,9</i>
<i>Аварий на 1 погибшего</i>	28	4	9	21	...	4	7	...	<i>3–19</i>
<i>Смертельных травм на 10 аварий</i>	0,4	2,3	1,2	0,5	0	2,5	1,5	0	<i>0,1–1,9</i>

После более чем 7-кратного всплеска в 1993–1998 гг. удельная аварийность на грузооборот в целом на МТТ снижается, и в начале 2010-х гг. по этому показателю восстановлен уровень конца 1980-х гг. При этом на одну аварию в последние годы регистрировалось в среднем 17 инцидентов.

На основании данных об удельной аварийности и травматизме на МТТ (Табл. 2) предложены и оценены характерные фоновые показатели опасности аварий МТТ с соответствующими риск-ориентированными критериями ранжирования участков линейной части МТТ по степени опасности по сравнению со среднеотраслевым фоновым риском аварии за 2012–2016 гг. (Табл. 3).

Табл. 3

Показатели с критериями ранжирования участков линейной части МТТ по степени опасности аварий

Сравнительная степень опасности аварии на линейной части МТТ	Показатель опасности аварий МТТ				
	Удельная интенсивность аварий за год на 1000 км	Удельная частота аварий за год на 1 трлн ткм	Средний ущерб на 1 аварию, млн руб.	Удельный ожидаемый ущерб за год млн руб на 1000 км	Смертей на 10 аварий
Малая	Менее 0,02	Менее 2	Менее 3	Менее 0,2	Менее 0,15
Средняя	0,02–0,2	2–20	3–30	0,2–2	0,15–1,5
Высокая	0,2–2	20–200	30–300	2–20	1,5–15
Чрезвычайно высокая	Более 2	Более 200	Более 300	Более 20	Более 15

Для магистральных нефтепроводов (Рис. 5) за 2007–2016 гг. фоновая удельная частота аварий достигала 6 аварий на 1 трлн ткм грузооборота на падающем тренде.

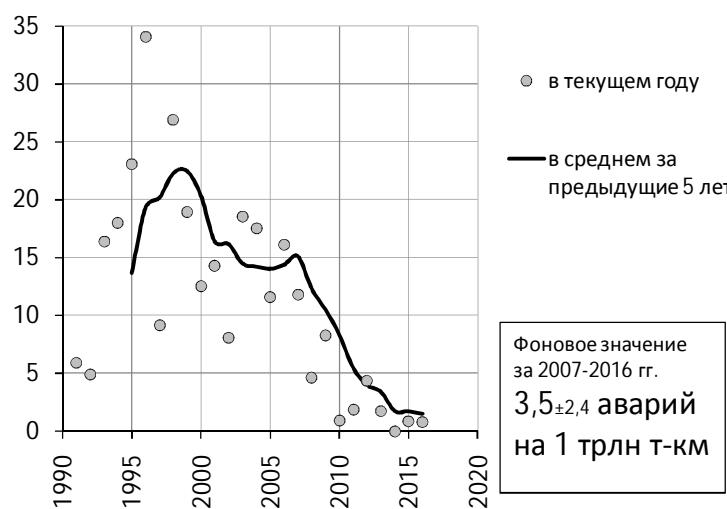


Рис. 5. Удельная частота аварий на магистральных нефтепроводах в России, аварий на 1 трлн ткм грузооборота

За десятилетие (2007–2016 гг.) фоновая удельная частота аварий на магистральных газопроводах (далее – МГ) достигала 13 аварий на 1 трлн ткм грузооборота – в среднем ($10\pm3,2$) аварий на 1 трлн ткм (Рис. 6).

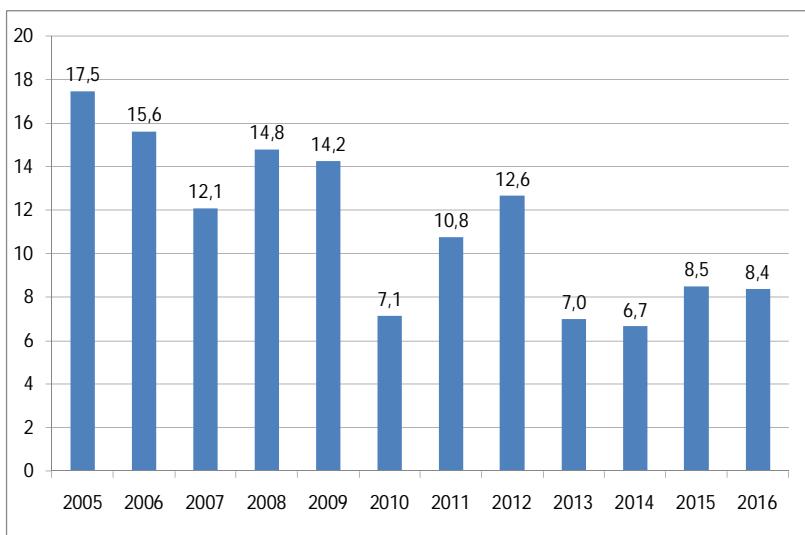


Рис. 6. Удельная частота аварий на МГ, аварий на 1 трлн ткм грузооборота

На фоне общемировой тенденции снижения аварийности на МТТ на высокоизношенных российских МГ наблюдается возрастание «средней цены одной аварии» при сохранении «среднего выброса при аварии». В 2009–2014 гг. фоновый ожидаемый ущерб на одну аварию достигал 10,6 млн руб., а объем аварийного выброса – 3,3 млн м³. Более чем треть аварий в 2012–2014 гг. произошла на газопроводах с износом основных фондов более 85 %, а 60 % материального ущерба пришлось на аварийные трубопроводы с износом более чем 50 % (Табл. 4, Табл. 5).

Табл. 4

Распределение количества и тяжести аварий в 2012–2014 гг. на МГ с различным сроком эксплуатации, %

Распределение аварий в 2012–2014 гг.	Срок эксплуатации, лет			
	0-10	10-20	20-40	Более 40
По количеству зарегистрированных аварий	3	6	66	25
По размеру экономического ущерба от аварий	1	13	61	25
По объемам аварийного выброса газа	0,03	9	52	39

Табл. 5

Распределение количества и тяжести аварий на МГ с различным износом основных фондов, доля ед.

Распределение аварий в 2012–2014 гг.	Износ основных фондов, %			
	до 25	25-50	50-85	Более 85
По количеству зарегистрированных аварий	0,13	0,9	0,41	0,38
По размеру экономического ущерба от аварий	0,31	0,1	0,31	0,29
По объемам аварийного выброса газа	0,21	0,2	0,15	0,62

Анализ опасностей крупных аварий проводится как на основе отечественного опыта происшедших аварий, так и с освоением и адаптацией западных подходов, с внедрением результатов в правила промышленной безопасности, ограничивающих опасную производственную деятельность. В работе исследована и показана

недопустимость конструирования альтернативы реформированного обслуживания опасной производственной деятельности вообще без традиционных правил безопасности, когда совокупность действующих требований в нефтегазопереработке предполагалось заменить контролем двух расчетных параметров (т.н. «*process safety indices*») – индивидуального риска гибели для персонала и для населения.

В российской нефтегазопереработке ежегодно происходит 6–8 аварий и погибает 3–4 человека, а фоновый индивидуальный риск составляет $(4 \pm 1,3) \cdot 10^{-5}$ (Рис. 7), что меньше, чем в целом по переработке нефти и газа, нефтехимии и газохимии в США ($4,6 \cdot 10^{-5}$, по данным OGP за 2010 г.). В данном случае риск-параметр демонстрирует лидерство российской безопасности по сравнению с США, что не соответствует многим другим эмпирическим данным и указывает на неверный выбор показателя безопасности.

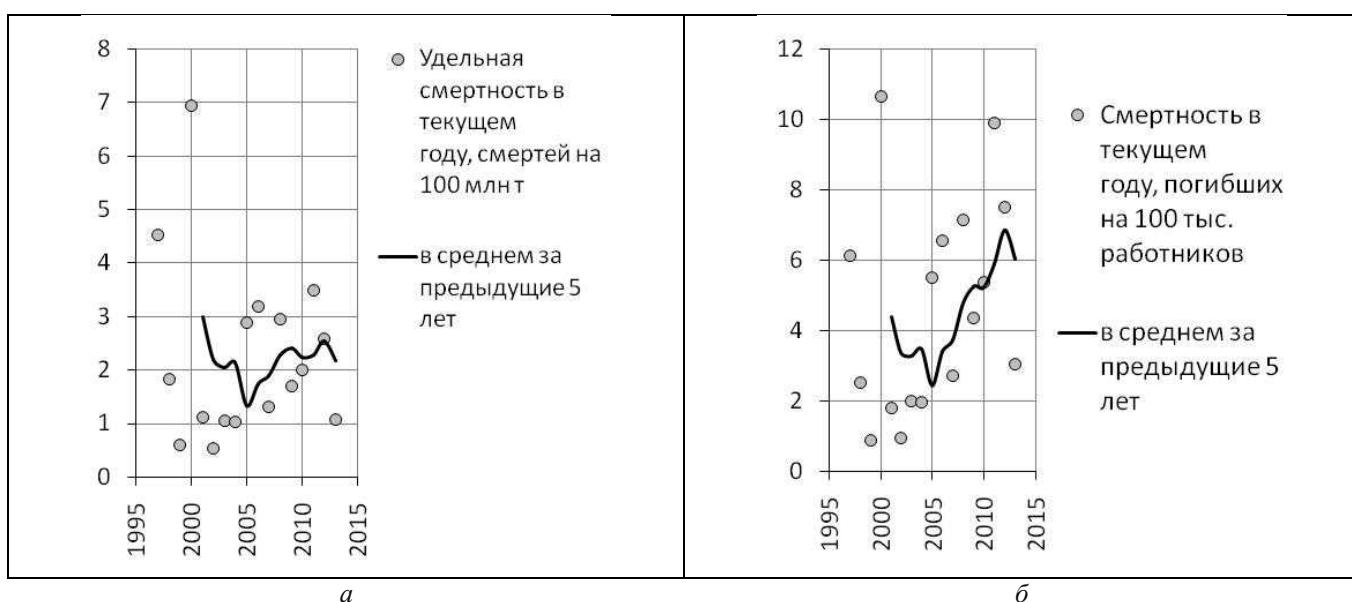


Рис. 7. Удельная смертность в нефтеперерабатывающей промышленности России:
а – смертей на 100 млн т; б – погибших на 100 тыс. работников

Категория безопасности определяется через способность противодействовать опасностям: для многих ОПО нефтегазовой промышленности опасности гибели людей не единственны и не превалируют. Тяжесть современных крупных аварий не измеряется исключительно смертью индивида в ближайшие 10 тыс. лет. Усредненный индивидуальный риск не является показателем опасности крупных аварий.

Реформаторский концепт «целеустанавливающее регулирование безопасности» сопряжен с грубыми методическими ошибками. В практических ответственных решениях более фундаментальны не цели, а ограничения. Поставленные цели могут и не достигаться, но нарушать ограничения нельзя, иначе разрушаются сама управляемая система и предметная область культивирования безопасного производства.

В рассматриваемом контексте культура – это прежде всего нормы, которые возложил на себя человек общественный, исходя из опыта, прогноза или предчувствия стихийных, предсказываемых или создаваемых бедствий (природных, социальных,

технологических). В технической культуре жизненно важные нормы вербализованы в требованиях безопасности – «правила записаны кровью». Динамическую систему норм, защищающих от техногенных опасностей, а также способов принятия и исполнения организационно-технических требований в производственной деятельности называют культурой безопасности (*safety culture*). Культура безопасности – системный ответ на угрозы смертельных опасностей в производственной деятельности.

Проблема модернизации норм безопасности сложна и болезненна и для современных российских условий методически не проработана. Обложечное заимствование зарубежных правил в форме технических регламентов оказалось во многом несостоятельным. Требуется разработка специальной программы смены (разработки, принятия, перехода, освоения) индустриальных требований безопасности на постиндустриальные (см. далее в главе 3).

Важно различать, что правила принятия и исполнения требований не есть сами безусловные требования. Схожие требования можно выполнить разными путями, с другими правилами и с тем же результатом. Промышленно развитые страны обеспечивали исполнение требований безопасности примерно по одинаковой схеме: орган власти на основе сигналов от расследования техногенных аварий и анализа предложений профессиональных сообществ устанавливал «субъективный» порядок обязательного исполнения «объективных» требований безопасности.

Формализованные знания об опасностях аварий, содержащиеся в отечественных правилах промышленной безопасности (включая качественные признаки и количественные индикаторы), невозможно полностью заменить результатами количественной оценки риска аварии. Первыми упорядочивают прошлое и предупреждают известные аварии в настоящем, а посредством вторых выявляют вызревание угроз в предстоящей эксплуатации проектируемых и действующих ОПО НГК. Приемлемый и допустимый риски аварии не могут служить единственными критериями безопасности ОПО НГК. Помимо методических трудностей применения существует методическая проблема выбора критериев допустимости риска — это вопрос не технократический, а ценностный. Здесь требуется не только знание истории и состояния аварийности и травматизма в отраслях промышленности, но и согласие на принятие опасности рискующими. Обоснованное применение критериев допустимого риска аварии возможно только при наличии проверяемого методического аппарата и развернутых рекомендаций по его использованию не для абсолютной оценки соответствия, а для анализа и выявления критичных аварийно-опасных элементов и связей в системах поднадзорных ОПО НГК.

В *главе 3* рассмотрены и предложены решения актуальных научно-методических вопросов риск-ориентированного анализа опасностей крупных аварий.

При столкновении с проблемой крупных аварий и в условиях недостатка знаний об их угрозах приходилось устанавливать сверхжесткие требования безопасности, в

некоторых случаях замораживавшие развитие отдельных опасных технологий и даже отраслей. Так, после крупной аварии под Уфой в 1989 г. в последующих СНиП 2.05.06-85* были установлены требования к прокладке магистральных трубопроводов СУГ с 3–5-км расстояниями до соседних объектов с присутствием людей. Фактически единственным способом предотвращения тяжелых последствий таких крупных аварий была выбрана «защита расстоянием».

Для применения метода «защита временем» требовался инструментарий оценки и мониторинга опасностей аварий. По опыту аэрокосмонавтики и ядерной энергетики в области промышленной безопасности он стал складываться и развиваться как «анализ риска» (анализ опасностей и оценка риска), а в последнее время как риск-ориентированный подход – выявление, анализ и прогнозирование промышленных опасностей, оценка риска и возможных масштабов последствий аварий на ОПО для оптимизации предупредительных организационно-технических мер, недопущения возникновения угроз крупных аварий и обеспечения промышленной безопасности.

В последние десятилетия термин «риск» перестает быть новационным, он все чаще вытесняет или подменяет определяющие смыслы традиционных терминов «опасность» и «безопасность». Слово «риск» становится лидером по употреблению в отраслевых технических нормах и правилах – в середине 2010-х гг. в России действовало уже почти 400 таких документов (Рис. 8).

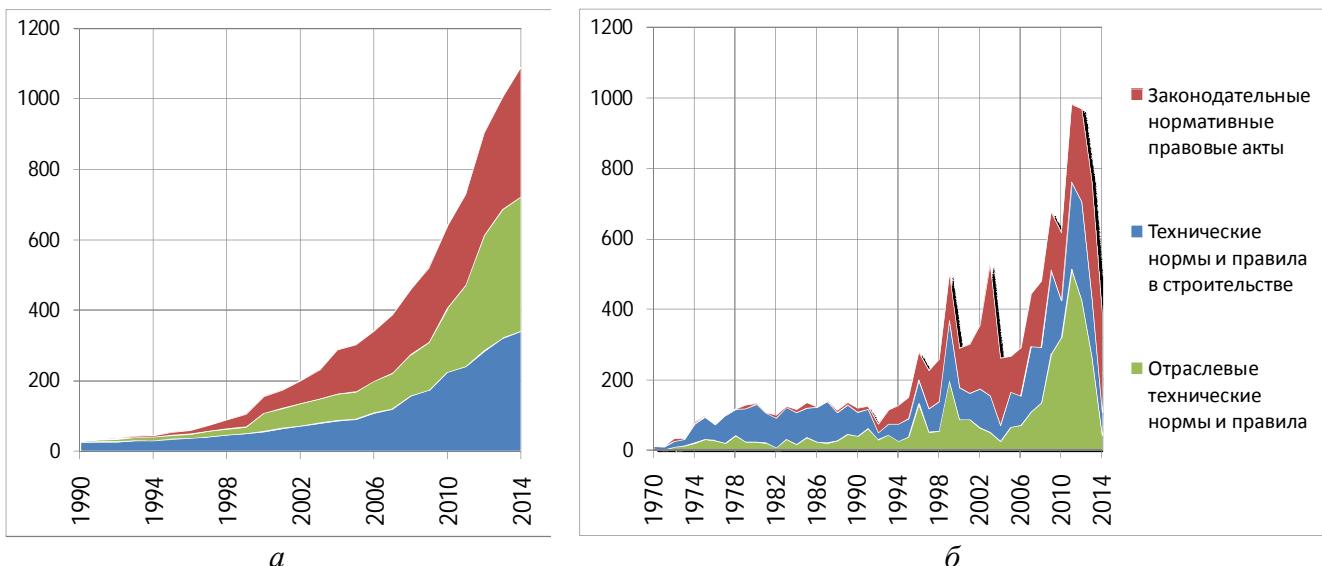


Рис. 8. Количество (с накоплением) российских нормативов в промышленной сфере: *а* – в которых употребляется слово «риск»; *б* – вновь принятых со словами «безопасность», «опасность», «риск»

В исследовании был проведен контент-анализ российских нормативных и технических документов, показавший, что достаточно часто «риск» используют как синоним понятия, обозначаемого словом «опасность» для усиления восприятия угроз. Во многих нормативах понятие «безопасность» употребляют вне связи с конкретной структурой опасностей. В области промышленной безопасности под риском аварии понимается не сама опасность или какая-то скрытая угроза, а мера опасности

неслучившихся промышленных аварий, характеризующая их масштаб и возможность возникновения.

В работе актуализирована риск-ориентированная терминология в промышленной безопасности в рамках научно-методической разработки процедуры обоснования безопасности, а также ключевых методических руководств по анализу опасностей и оценке риска аварий на ОПО.

После уникальных крупных аварий XXI в. в действующем с 1997 г. российском законодательстве в области промышленной безопасности в 2010-х гг. произошли значительные изменения, потребовавшие внедрения и методического обеспечения новой процедуры обоснования вынужденного и допустимого отступления от действующих требований. По законодательству ОБ может быть разработано, когда требуется: 1) отступление от требований промышленной безопасности; 2) таких требований недостаточно; 3) и (или) они не установлены.

В ОБ необходимо проанализировать не только само «отступаемое требование», а главное – оставшиеся нормы на предмет возможности долгосрочного сохранения безопасной эксплуатации ОПО.

Неисполнение норм – это субъективная случайность, а возникающая с нарушением нормы дополнительная техногенная опасность и защита от нее – это объективная необходимость. Предназначение требований безопасности не в «увеличении благ», а в «сокращении ущербов», несмотря на то, что главный критерий успеха в индустриальном обществе – экономическая эффективность, при оценке которой нередко аварии на ОПО, и особенно их долговременные негативные последствия, исключаются из рассмотрения. ОБ должно содержать причины отступления от действующих норм и положения, компенсирующие эти отступления.

Обоснованное отступление от действующих требований допустимо только после необходимого и достаточного анализа опасностей и угроз такого отступления. В исследовании разработаны методические принципы обоснования и условий безопасности в контексте научно-технической проблемы модернизации норм безопасности. Условия безопасной эксплуатации ОПО последовательно обосновываются: определением набора *параметров* и выбором основных *показателей* безопасной эксплуатации ОПО; оценкой значений выбранных *показателей* до и после отступления от требований безопасности; сравнением значений выбранных *показателей* безопасной эксплуатации ОПО с *критериями* обеспечения безопасной эксплуатации при отступлении от требований безопасности; *обоснованием* решения о безопасной эксплуатации ОПО.

В действующих правилах безопасности все процедуры отбора *показателей* из *параметров*, их измерение и сравнение с обоснованными *критериями* уже проведены, поэтому и при отступлении от норм эти процедуры должны быть исполнены в ОБ.

Важный методический вопрос – об использовании риска аварии при обосновании безопасности. Впрямую риск – это *показатель опасности, а не безопасности*. Без обоснованного выбора риск аварии остается одним из многих *параметров ОПО и показателем безопасности ОПО* не является. В исследовании приведены методические задачи выбора риск-ориентированных критериев безопасной эксплуатации ОПО на примерах реформирования понятия энергетического потенциала взрывоопасности блоков ОПО и измерения аварийной опасности при отступлении от требований безопасности при прохождении магистральных нефтепроводов в городской черте.

При обосновании безопасности для измерения опасности необходимо пользоваться не абсолютными, а относительными риск-ориентированными величинами, причем уровень сравнения определяется безусловным выполнением действующих правил безопасности («уровень правил»).

К наиболее общим условиям безопасной эксплуатации ОПО относятся:

- (1) выполнение действующих требований промышленной безопасности;
- (2) соответствие значений показателей безопасной эксплуатации ОПО критериям обеспечения безопасной эксплуатации.

Для случая (2) при отступлении от требований безопасности необходимы критерии обеспечения безопасной эксплуатации, в качестве которых могут быть приняты с определенными допущениями и критерии допустимого риска аварии на ОПО НГК.

В общем случае критерий обеспечения безопасной эксплуатации при отступлении от действующих требований безопасности определяется следующим:

1) в предположении, что на ОПО НГК выполнены все действующие правила безопасности, определяется уровень безопасности (далее – УБ), т.е. «уровень правил» по выбранным основным показателям безопасной эксплуатации. В самом простом случае УБ может быть оценен по текущему уровню опасностей, измеряемых, например, риском аварии R_0 , т.е. $УБ = -R_0$;

2) при отступлении от норм без компенсирующих мер определяется пониженный уровень безопасности: $УБ_1 = -R_1$, где R_1 — оценка увеличившейся опасности аварии;

3) если $R_1 \leq R_0$, то это явный признак непригодной методики их оценки (как оценки функции значений набора показателей) или ошибочного выбора показателей безопасной эксплуатации;

4) если $R_1 > R_0$, то обосновывается допустимый уровень опасности, измеряемый $R_{\text{доп}}$, для конкретного случая отступления от норм:

$$R_{\text{доп}} = R_0 / K3, \quad (3)$$

где КЗ — коэффициент запаса, учитывающий техническое состояние ОПО НГК, значимость норм, неопределенность методик оценки риска, исходных данных и др.

Значение $\Delta_R = R_1 - R_{\text{доп}}$ — индикатор разработки набора обоснованных компенсирующих мер, которые должны иметь соответствующий эффект повышения защищенности рискующих и компенсировать опасность исследуемого отступления.

Например, для нефтепроводов предложенные мероприятия, компенсирующие отступления от норм, могут быть обоснованы как минимально достаточные, если с использованием методики балльной оценки опасности показано, что $\Delta_R = 0$. Кроме компенсации нужны еще и дополнительные меры (т.е. КЗ > 1): нужна гарантия, что будет не хуже по уровню безопасности после отступлений. Дополнительные меры – это запас на незнание (несовершенные методики оценки опасности, неопределенность исходных данных, сложность учета синергетических эффектов кумуляции опасностей и взаимовлияния упреждающих мер, относительность уровня опасности объекта и т.д.).

Важнейшей «стороной» опасности аварии является угроза ее приближения к порогу существенного причинения реального ущерба (актуализированная опасность). Угроза аварии надвигается при необоснованных отступлениях от требований безопасности, а также в случаях приближения внешних и внутренних нагрузок на ОПО НГК (техногенных, антропогенных, природных) к предельным проектным значениям. Только если отступления компенсированы дополнительными мероприятиями обеспечения безопасности, то опасность не сможет перерастать в угрозу.

Для различия перехода «опасность–угроза» необходима специальная критериальная мера, которую предложено обозначать допустимым риском. В сфере промышленной безопасности понятия «допустимый» и «приемлемый» следует различать: «допустимость» предполагает активность в исполнении решения и принятии ответственности за последствия опасного воздействия, а «приемлемость» акцентирована на защитном внутреннем согласии в принятии тех или иных внешних решений.

При решении проблемы установления допустимого риска аварии на ОПО НГК целесообразно не только ориентироваться на субъективное восприятие опасностей рискующими, но и приоритетно опираться на более объективные уровни фоновых опасностей – на самом ОПО, в отрасли (Табл. 6), в техносфере.

Важное ограничение применимости методов количественной оценки риска – достаточно высокая неопределенность получаемых результатов. Для одного и того же ОПО результаты расчетов риска гибели людей при аварии, выполненные различными группами исследователей, могут различаться до трех десятичных порядков. Особенно при вариациях с возможностью возникновения предаварийных событий. Поэтому в разработанном подходе при установлении допустимого риска гибели человека через сопоставление с уровнями фоновых опасностей выбран соответствующий диапазон для коэффициентов запаса (Табл. 7). КЗ для новых объектов и для новых требований вводятся для исключения из проектирования недостаточно изученных или неоправданно опасных технологий: КЗ для новаций могут быть выбраны как соответствующие доли (1/3–1/5) диапазона полного возможного разброса значений показателей риска аварии, рассчитываемых по современным методикам оценки риска аварий в настоящее время.

Табл. 6

Фоновый риск гибели людей, материального ущерба и числа случаев возникновения аварии на ОПО НГК (оценка на основе официальных данных главы 2)

Отрасль нефтегазового комплекса	Величина фонового риска гибели за период 2012–2016 гг.		Величина фонового значения за период 2012–2016 гг. риска	
	Уровень риска R_{dB} , дБР	Среднегодовое число погибших от аварий на миллион рискующих R_{NG} , прм	возникновения аварии за год (на масштаб производства)	материального ущерба от аварии, млн руб.
Нефтедобывающая промышленность нефтегазодобыча	-2,7	130	4 (на 100 млн т добытой нефти)	69
Нефтеперерабатывающая промышленность вкл. нефтепродуктообеспечение *	-5,1	75	4 (на 100 млн т первичной переработки нефти)	51
Газодобывающая промышленность * газораспределение и газопотребление	-11,6	17	9 (на 100 млрд м ³ потребляемого газа)	5
Нефтехимическая промышленность	-1,2	180	6 (на 10 млн т производства пластмасс и каучука)	190
Магистральный трубопроводный транспорт	-	-	7 (на трлн ткм грузооборота)	33

* За период 2011–2015 гг.

Приемлемым считается то, с чем люди живут и сталкиваются достаточно часто, к чему привыкли, что узнаемо. В бытовой сфере техногенных смертельных угроз – это пожары и дорожно-транспортные происшествия, уровень гибели в которых может быть принят за отправную точку для сравнения с другими видами техногенных опасностей.

Для целей максимально широкого информирования всех сторон согласования отступления от требований безопасности, а также для доступного ознакомления непосредственно рискующих с возлагаемыми на них опасностями разработано и введено понятие *уровень риска* R_{dB} , под которым понимается величина, используемая для сравнения значений показателей риска аварий на ОПО R с фоновым риском R_{gl} гибели людей в техногенных происшествиях:

$$R_{dB} = 10 \lg \frac{R}{R_{gl}} \quad (4)$$

Уровень риска измеряется в децибелах риска гибели человека (дБР) и на практике может принимать значения от -50 до +20 дБР: положительные значения характерны для случаев, когда риск аварии превышает риск гибели людей в распространенных техногенных происшествиях.

Шкала техногенных опасностей в децибелах более приемлема для рискующих, так как она интуитивно понятна, по ней проще ориентироваться в уровне техногенных опасностей (использованы целые числа, и знак «-» указывает на меньшую опасность).

Разработанный алгоритм установления допустимого риска аварии включает следующие основные стадии (Рис. 9):

- (1) предварительная идентификация опасности отступления от требований безопасности;
- (2) выбор риск-ориентированных показателей опасности аварии;
- (3) установление степени опасности аварии на ОПО НГК;
- (4) определение фонового риска аварии;
- (5) выбор коэффициента запаса;
- (6) оценка значений выбранных показателей риска после реализации отступлений и компенсирующих мер;
- (7) установление значения допустимого риска аварии;
- (8) оценка и обоснование достаточности компенсирующих мер.

При выборе риск-ориентированных показателей на стадии (2) проводят:

(2.1) Предварительную качественную оценку возможности увеличения опасности крупных аварий при отступлении от требований безопасности, оценивая степень влияния на опасность аварии факторов, способствующих эскалации аварии, приводящей к возникновению крупных аварий на ОПО НГК I и II классов опасности, иных аварий на других ОПО НГК или возникновению зон смертельного поражения.

(2.2) Первичный выбор риск-ориентированных показателей опасности с соблюдением следующих условий:

а) выбранный показатель должен наиболее адекватно характеризовать аварийные опасности отступлений от требований безопасности и

б) быть чувствительным к изменениям организационно-технических характеристик ОПО НГК, связанных с отступлениями, а также с внедрением компенсирующих и дополнительных мер;

в) для выбранного показателя должны иметься или определяться достоверные оценки значений риска аварий и (или) инцидентов на рассматриваемом ОПО НГК без отступлений от требований безопасности или оценки любых из следующих значений фоновых опасностей (фонового риска): аварий и (или) инцидентов на ОПО НГК, для которого разрабатывают ОБ; аварий на ОПО НГК (например, согласно Табл. 6); гибели людей в техногенных происшествиях (например, в 2012–2016 гг. среднегодовое число погибших в ДТП и пожарах на миллион рискующих составляло 241).

Степень опасности аварии (составляющих) ОПО НГК на стадии (3) устанавливают по разработанному алгоритму категорирования (Табл. 9, Табл. 11).

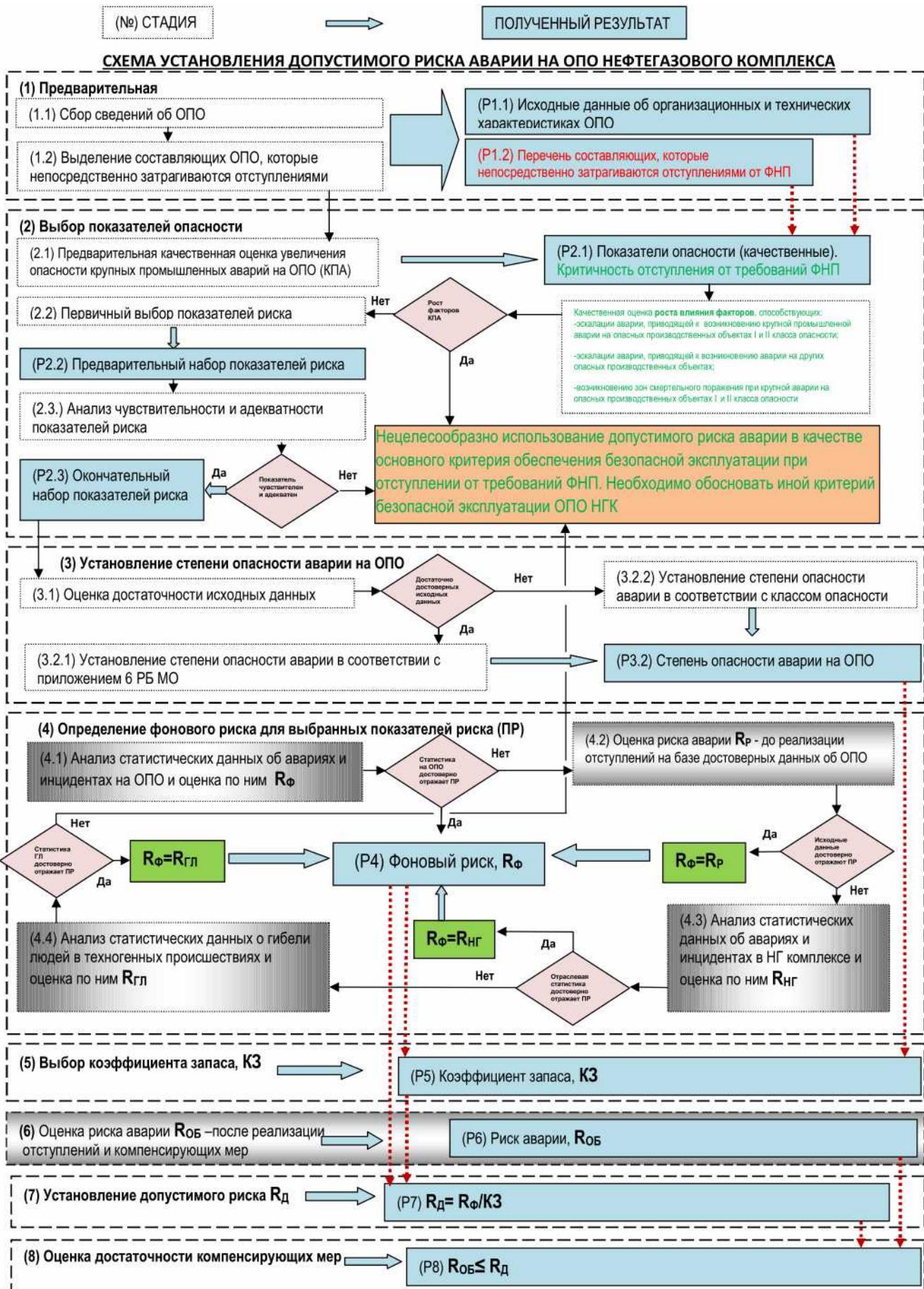


Рис. 9. Схема алгоритма установления допустимого риска аварии для обоснования безопасности

Для определения фонового риска аварии на стадии (4) проводят:

(4.1) анализ статистических данных об авариях и инцидентах на ОПО НГК, для которого разрабатывают ОБ, и оценку по ним фонового риска аварии R_ϕ или

(4.2) оценку риска аварии на ОПО НГК R_p для выбранного показателя риска в условиях выполнения требований безопасности (при этом принимается: $R_\phi = R_p$), или

(4.3) оценку фонового риска аварии в нефтегазовой отрасли ($R_{\text{НГ}}$) по данным об авариях и инцидентах на ОПО НГК ($R_\phi = R_{\text{НГ}}$). Для показателей риска гибели может использоваться фоновый риск гибели людей $R_{\text{гл}}$ в техногенных ЧС ($R_\phi = R_{\text{гл}}$).

На стадии (5) выбирается коэффициент запаса КЗ в зависимости от установленной на стадии (3) степени опасности аварии и использованного на стадии (4) способа определения фонового риска:

(5.1) для показателей риска гибели людей – с использованием Табл. 7, при этом если $R_p > R_{\text{НГ}}$, то принимается $R_p = 0,2 \cdot R_{\text{НГ}}$;

Табл. 7

Коэффициенты запаса для установления допустимого риска гибели людей при аварии

Степень опасности аварии	Значение коэффициента запаса КЗ для трех вариантов определения фонового риска R_ϕ		
	аварии на ОПО, для которого разрабатывается обоснование безопасности	аварии на объектах НГК	гибели людей в техногенных происшествиях
	$R_\phi = R_p$	$R_\phi = R_{\text{НГ}}$	$R_\phi = R_{\text{гл}}$
Малая	1	10	100
Средняя	2	20	200
Высокая	5	50	500
Чрезвычайно высокая	10	100	1000

(5.2) для показателей риска материального ущерба от аварии – с использованием Табл. 8, при этом если $R_p > R_{\text{НГ}}$, то принимается $R_p = 0,8 \cdot R_{\text{НГ}}$;

(5.3) для показателей риска факта возникновения аварии на ОПО НГК – с использованием Табл. 8, при этом если $R_p > R_{\text{НГ}}$, то принимается $R_p = 0,5 \cdot R_{\text{НГ}}$;

(5.4) для иных показателей риска аварии на ОПО НГК – с использованием Табл. 8, при этом если $R_p > R_{\text{НГ}}$, то принимается $R_p = 0,7 \cdot R_{\text{НГ}}$.

На стадии (6) проводят оценку риска аварии на ОПО НГК $R_{\text{об}}$ по обоснованно выбранным на стадии (2) риск-ориентированным показателям аварийной опасности отступления от требований безопасности с учетом реализации компенсирующих мер.

На стадии (7) при установлении допустимого риска аварии R_d используют значения фонового риска аварии, определенного на стадии (4), и КЗ, выбранного на стадии (5): $R_d = R_\phi / KZ$. Для проектируемого ОПО НГК целесообразно применять дополнительный понижающий коэффициент, равный 3, а для ОПО НГК с новыми требованиями

промышленной безопасности – 5. Допустимый риск гибели для населения должен быть в 100 раз меньше, чем для персонала.

Табл. 8

Коэффициенты запаса для установления допустимого риска материального ущерба, случая возникновения аварии и иных рисков от аварии на ОПО

Степень опасности аварии	Значение коэффициента запаса КЗ для двух вариантов определения фонового риска аварии R_ϕ					
	$R_\phi = R_p$			$R_\phi = R_{НГ}$		
	На ОПО, для которого разрабатывают обоснование безопасности			На объектах НГК		
	Риск материального ущерба	Риск случая возникновения аварии	Иные риски аварии	Риск материального ущерба	Риск случая возникновения аварии	Иные риски аварии
Малая	1	1	1	1	1	1
Средняя	1,1	1,7	1,5	1,25	2	4
Высокая	1,2	2,2	3,5	1,5	5	10
Чрезвычайно высокая	1,3	3	5	2	10	20

На стадии (8) для обоснования достаточности компенсирующих мер проверяют выполнение условия $R_{\text{об}} \leq R_d$. В противном случае необходимо переработать компенсирующие меры или отказаться от предполагаемого отступления, как недопустимо аварийно опасного и необоснованного. В исследовании разработаны типовые примеры установления допустимого риска аварий.

Основанием для оценки диапазона предлагаемых значений КЗ (Табл. 7, Табл. 8) стали фиксируемый разброс значений в официальных данных по аварийности и смертельному травматизму на ОПО НГК, известные масштабы неопределенности существующих методик оценки риска (для «индивидуального риска», например, до 3 десятичных порядков), опыт технического регулирования пожарной безопасности (законодательное изменение допустимого пожарного риска на десятичные порядки), фактическое исключение из часто применяемых методов оценки риска аварий адекватных моделей зарождения и возникновения аварий (упрощенная замена их исходными данными о частотах «средних» отказов на «средних» технических устройствах).

Чем выше неопределенность исходных данных о фоновом риске аварии и выше степень опасности ОПО, тем выше КЗ. Значения КЗ внутри максимального диапазона определяются в долях соответствующих классу опасности ОПО НГК и степени неопределенности выбранного фонового уровня опасности. На первоначальном этапе внедрения методов установления допустимого риска аварии важнее не точное значение КЗ, а характер его изменения в известном диапазоне (по степенной зависимости при оценке степени риска). В разработанной методике конкретные значения КЗ не входят в

обязательные положения в отличие от принципов их выбора и применения для установления допустимого риска аварии относительно фонового на ОПО НГК.

В исследовании представлены основные результаты модернизации ключевого элемента системы нормативно-методического обеспечения анализа риска аварий – действующих в РФ с 1996 г. методических основ по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий ОПО – от РД 08-120-96 и РД 03-418-01 к РБ «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий ...», 2016.

Основные дополнения коснулись определения степени опасности аварий на ОПО. Для этого проводят сопоставительные сравнения значений рассчитанных показателей опасности и полученных оценок риска аварии: приоритетны относительные сопоставления характерных для ОПО опасностей, а не оценка соответствия рассчитанных значений риска аварии с абсолютными уровнями, в т.ч. пожарного риска.

Для участков линейных ОПО НГК степень опасности аварий определяется различием между рассчитанным для участка значением показателя риска аварии и фоновым за последние 5 лет по распределительным критериям (пример для МТТ приведен выше, в Табл. 3). Преимущественно для площадочных ОПО НГК степень опасности аварий определяется приоритетным показателем максимально возможного количества потерпевших и погибших по сопоставительным критериям из Табл. 9.

Табл. 9

Критерии степени опасности аварий на площадочных ОПО НГК

Сравнительная степень опасности аварии	Максимально возможное количество потерпевших, жизни или здоровью которых может быть причинен вред при аварии	
	Всего потерпевших	В т.ч. смертельно травмированных
Малая	Менее 10	Менее 3
Средняя	10–74	3–9
Высокая	75–300	10–30
Чрезвычайно высокая	Более 300	Более 30

С учетом актуальных угроз крупных аварий при проектировании ОПО первоочередны меры пассивной защиты эффективным расстоянием (включая физические барьеры) от опасного воздействия поражающих факторов возможных аварий. При эксплуатации ОПО приоритетными являются меры активной защиты от перерастания опасности аварии в угрозу аварии. Для обоснования и оценки эффективности рекомендаций по снижению риска аварии целесообразно придерживаться следующих взаимодополняющих способов их оптимизации:

- 1) при доступных ресурсах и располагаемых средствах обеспечить максимальное снижение риска аварии при долгосрочной эксплуатации ОПО с динамическим предотвращением угроз крупных аварий;
- 2) минимизируя затраты, обеспечить снижение риска крупных аварий до требуемого уровня (в т.ч. допустимого или фонового с обоснованным КЗ).

Разработанное методическое обеспечение анализа опасностей аварий и риск-ориентированного обоснования безопасности включено в нормативы Ростехнадзора (перечислены выше в подразделе «Реализация работы») и прошло апробацию практикой обеспечения промышленной безопасности, в первую очередь на ОПО нефтяной и газовой промышленности, и стало основой разрабатываемого и внедряемого Ростехнадзором в 2010-х гг. риск-ориентированного подхода обеспечения промышленной безопасности как предупредительного ответа на новые угрозы крупных аварий.

В *главе 4* представлены методические принципы и концептуальные основы разработки информационно-аналитической системы риск-ориентированного предупреждения угроз крупных аварий, а также дистанционного надзора за высокоопасными производственными объектами нефтегазовой промышленности.

Возникновение и выявление известных и новых угроз техногенного и антропогенного характера на протяжении всей индустриальной истории порождают необходимость разработки новых средств и способов предупреждения (крупных) промышленных аварий, включая риск-ориентированное обеспечение безопасности.

Опасности промышленных аварий и особенно катастрофических крупных аварий могут достаточно быстро перерастать в реальные угрозы технологической стагнации. Поэтому все промышленно развитые страны создают, обслуживают и совершенствуют национальные системы обеспечения промышленной безопасности с подсистемами предупреждения угроз крупных аварий. Предотвращение перерастания аварийной опасности в угрозу возникновения крупных аварий – актуальная научно-методическая задача в промышленной безопасности.

Сфера промышленной безопасности непосредственно затрагивает большие технико-социальные системы индустриального общества (промышленность, транспорт, строительство, энергетику), целостно окружает и инерционно сопровождает их при развитии, существовании и деградации. Безопасный труд – важнейшее достижение технической культуры, эта защитная цивилизационная оболочка производства оберегает жизнь и здоровье человека в индустриальную эпоху.

Накопление знаний и представлений об угрозах («карты опасностей») позволяет создавать и обслуживать системы безопасности. В методическом плане опасностей всегда много, а безопасность – одна (в индустриализме – национальная безопасность).

В кризисных условиях постиндустриализма обеспечение промышленной безопасности остается важной государственной функцией, необходимой составляющей национальной безопасности, которая обеспечивается в т. ч. противоаварийной защищенностью индустриального базиса современной России – наиболее энергонагруженных отраслей НГК, с первоначальным риск-ориентированным анализом изменений опасностей и угроз крупных аварий в системе поднадзорных ОПО НГК. В исследовании разработана концепция информационно-аналитической системы риск-

ориентированного предупреждения угроз (крупных) промышленных аварий (далее – концепция), представляющая собой современную систему взглядов на создание новых и развитие существующих функциональных структур предупреждения и прогнозирования угроз (крупных) промышленных аварий на ОПО НГК и смежных отраслей промышленности и её место в модернизируемой системе обеспечения промышленной безопасности.

Комплексная информационно-аналитическая система риск-ориентированного предупреждения угроз крупных аварий (далее – КСР-О) – необходимый инструмент устойчивого социально-экономического развития и обеспечения национальной безопасности страны, промышленной, пожарной, экологической и энергетической безопасности ее НГК в современных условиях роста угроз крупных аварий.

В разработанной концепции отражены целесообразность, возможность и принципы создания КСР-О, ее основные задачи, организационные основы и порядок функционирования, рассмотрены этапы создания и развития.

Реализация и функционирование КСР-О позволит:

создать целостное организационное, информационное, терминологическое и методическое поле по вопросам предупреждения крупных аварий на ОПО НГК;

сформировать современные нормативные требования по созданию и модернизации различных организационных и технических (в т.ч. автоматизированных) систем и средств для решения традиционных и новых риск-ориентированных задач контроля и надзора, в т.ч. дистанционного;

разработать и внедрить современные информационно-аналитические системы контроля реальной и прогнозируемой ситуации с обеспечением промышленной безопасности на поднадзорных ОПО НГК, о происшедших и возможных авариях, инцидентах и несчастных случаях на них и об угрозах крупных аварий, в т. ч. повысить эффективность разработки и внедрения систем непрерывного дистанционного надзора за ОПО НГК с применением средств информационно-коммуникационных технологий;

сформировать современную систему научно-методического обеспечения анализа опасности возникновения (крупных) промышленных аварий на ОПО НГК в России, в ЕАЭС и в БРИКС.

Основные постулаты, принципы и приоритеты создания и функционирования КСР-О:

неустранимость энергетической составляющей потенциала опасности крупных аварий на высокорисковых ОПО НГК;

несоизмеримость ценностей индивидуальной экономической свободы владельцев опасных производств и коллективно обеспечиваемой промышленной безопасности;

неотложность безопасной технологической модернизации ОПО НГК;

территориально-производственное построение КСР-О;

максимально доступное, открытое и широкое ознакомление рискующих с установлением допустимых уровней риска аварий и их обоснованием как границы

перехода «опасность–угроза» на основе данных о фоновых и сведений о приемлемых уровнях аварийной опасности, по отраслям НГК и классам аварийной опасности;

необходимость динамического категорирования ОПО НГК по уровню (степени) риска аварии в процессе его эксплуатации с корректировкой класса опасности ОПО;

приоритет повышения эффекта противоаварийной защищенности от крупных аварий и эффективности обеспечения промышленной безопасности в подсистеме поднадзорных ОПО НГК в целом по сравнению со снижением частных параметров аварийности и травматизма на отдельных ОПО;

приоритет использования относительных показателей для оценки эффективности предупреждения и абсолютных показателей для оценки эффекта возможной реализации крупных аварий: а) относительное снижение удельной доли числа и тяжести крупных аварий в общем числе зарегистрированных аварий и инцидентов; б) абсолютная тяжесть единовременных потерь при возможных крупных авариях в системе поднадзорных опасных производств.

Основные тактические и стратегические задачи КСР-О:

1) представление в установленном порядке лицам, принимающим решения, персоналу ОПО НГК и иным рискующим:

объективных риск-информационных сведений об актуальных опасностях (в т. ч. крупных промышленных) аварий как на отдельных ОПО, так и для их совокупностей и подсистем (отраслевых, региональных, имущественных);

данных о степени аварийной опасности (степени риска аварии) различных участков и составляющих ОПО, о потенциале снижения защищенности от аварий на отдельном ОПО и в системе опасных производств НГК в целом;

перспективных вариантов тактических и стратегических мер, рекомендаций и проектов решений по непревышению допустимого уровня и обоснованному снижению риска крупных аварий на отдельном ОПО и в отраслевой системе ОПО НГК;

2) информационно-аналитическое обеспечение постановки и разработки способов решения актуальных вопросов обеспечения противоаварийной защищенности ОПО НГК и рискующих в сфере:

повышения эффективности государственного надзора и контроля в области промышленной безопасности в отношении высокорисковых ОПО НГК;

разработки и реализации методических, технических и правовых норм по предупреждению угроз крупных аварий с использованием риск-информационных методов исследования опасностей аварий;

предупреждения критичных инцидентов и эскалационных аварий, повышения устойчивости технологических процессов на высокорисковых ОПО НГК;

обучения персонала ОПО и информирования населения в области защищенности от неадекватного информационного воздействия медийных образов угроз крупных аварий

(противодействие дезинформации «управления рисками» в части конструирования и распространения сведений, неадекватных реальной аварийной опасности);

приоритетного планирования, подготовки, выделения и использования необходимых научных, социально-экономических и материально-технических ресурсов для предупреждения крупных аварий на высокорисковых ОПО НГК;

3) прогнозирование возможности возникновения и степени тяжести крупных аварий в системе поднадзорных ОПО НГК, оценка изменения вклада в общий риск аварий от них.

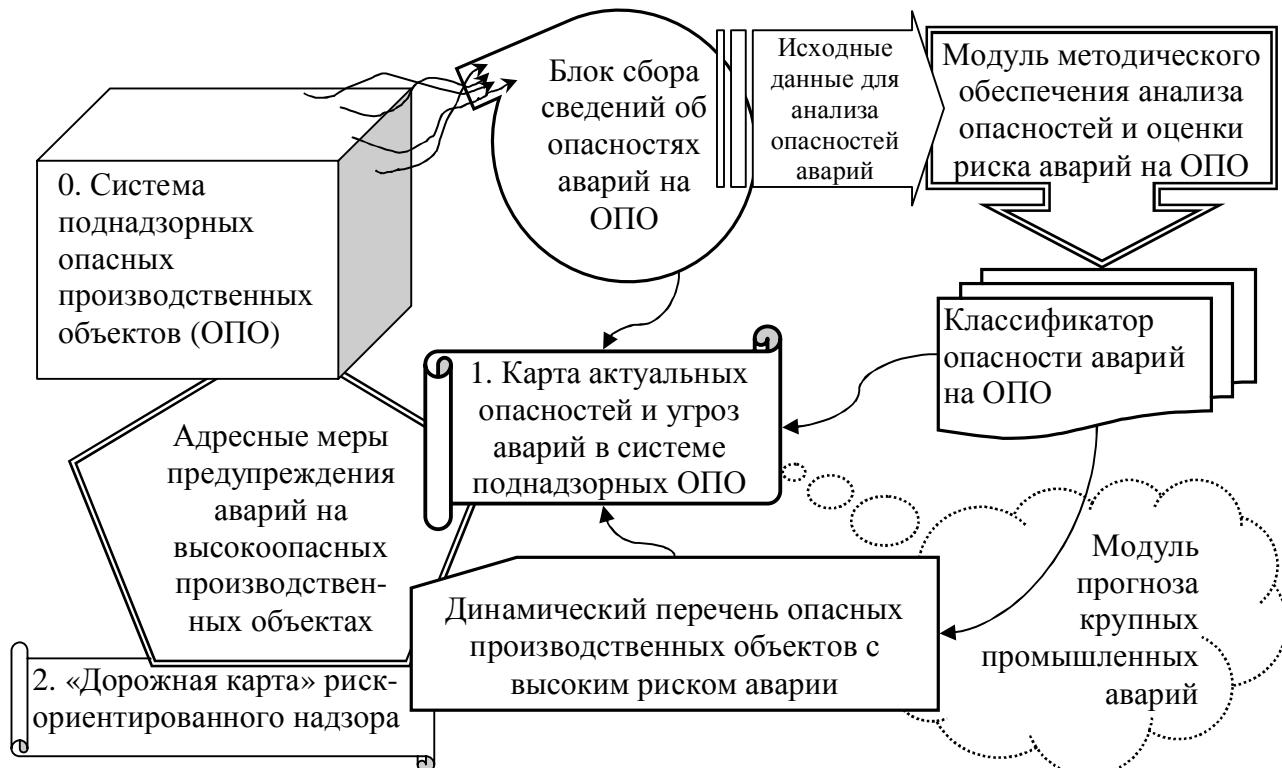


Рис. 10. Схема основных структурных элементов и связей информационно-аналитической системы выявления, анализа и прогнозирования опасностей промышленных аварий, оценки риска и возможных масштабов последствий аварий на поднадзорных ОПО НГК

Основу структуры КСР-О составляют следующие ключевые взаимосвязанные функциональные элементы и подсистемы (Рис. 10):

блок сбора сведений об опасностях аварий в системе опасных производств, основанный на анализе данных декларирования промышленной безопасности высокорисковых ОПО НГК, а также сведений мониторинговой системы дистанционного надзора за ОПО НГК;

подсистема анализа опасностей и оценки риска аварий (анализа риска аварии), включающая модули формирования специальных исходных данных и методического обеспечения анализа риска крупных аварий;

классификатор опасностей промышленных аварий;

подсистема формирования и актуализации динамического перечня ОПО НГК с высоким и чрезвычайно высоким риском возникновения крупных аварий;

актуализируемая динамическая карта опасностей и угроз аварий в системе поднадзорных ОПО («карта опасностей»);

модуль прогноза крупных аварий в системе поднадзорных ОПО НГК, позволяющий выявлять на «карте опасностей» проблемные ОПО с угрожающим предаварийным состоянием;

«дорожная карта» риск-ориентированного надзора, включающая модуль разработки адресных мер предупреждения крупных аварий на высокорисковых ОПО НГК чрезвычайно высокой и высокой аварийной опасности.

Все элементы и подсистемы связываются в целостную структуру КСР-О функциональным взаимодействием (информационным, организационно-техническим, финансово-экономическим, производственным, надзорным, научно-исследовательским и др.) с учетом территориально-производственного и отраслевого принципа для формирования совместимых слоев динамической карты опасностей и угроз аварий в системе поднадзорных ОПО НГК.

В целях упорядочивания сбора сведений об опасностях аварий (см. Рис. 10) разработан классификатор аварийных происшествий (аварий, инцидентов и их предпосылок) на ОПО НГК. Для различия аварий и инцидентов введено новое понятие о неаварийном контролируемом выбросе опасных веществ – в пределах пороговых объемов и без аварийных последствий взрыва, пожара, загрязнения водных объектов, без фактов нарушений условий жизнедеятельности и несчастных случаев.

Определяющий признак «контролируемый» для выброса использован не для штатного ведения технологического процесса, а для нештатных состояний, когда включаются системы противоаварийной защиты, предупреждения и локализации последствий аварии. От степени оперативности и эффективности срабатывания противоаварийных систем зависит возможность инициации аварии или ее пресечения на уровне инцидента. Минимизируемый объем ограниченного предаварийного выброса (табл. 10) – важный показатель подтверждения действенного организационно-технического контроля за началом и пресечением доаварийной разгерметизации, оперативности сдерживания и ликвидации угрозы возникновения аварии.

Контролируемый выброс опасных веществ на ОПО НГК должен ограничивать аварийные процессы уровнем инцидента, причиной которых являются (а) отказы, (б) повреждения технических устройств и (в) отклонения от установленного режима технологического процесса. События (а) и (б) целесообразно различать по времени восстановительных ремонтных работ (24–72 часа и менее 24 часов соответственно). Для события (в) по степени отклонения можно судить о вызревании на ОПО НГК предаварийных ситуаций и фиксировать их в дистанционном контроле по изменениям технологических параметров (по составу материальных сред, давлению, температуре,

скорости движения, времени пребывания в зоне с заданным режимом, соотношению смешиваемых компонентов, разделению смеси и т.д.).

табл. 10

Пороговые количества опасных выбросов для классификации аварий и инцидентов на линейных ОПО НГК

Вид опасного вещества	Пороговое количество выброса опасных веществ	
	Авария	Инцидент
Нефть/нефтепродукты, транспортируемые по МН, МНПП	10 т и более	От 1 до 10 т
Нефтепродукты, транспортируемые по МНПП в НП	5 т и более	От 0,5 до 5 т
Легкоиспаряющиеся нефтепродукты и ШФЛУ, транспортируемые вне НП	1 т и более	От 0,1 до 1 т
Легкоиспаряющиеся нефтепродукты и ШФЛУ, транспортируемые в НП	0,5 т и более	От 0,05 до 0,5 т
Продуктопроводы	5 т и более	От 0,5 до 5 т
Природный газ, транспортируемый по МГ вне НП	10 000 м ³ и более	От 100 до 10 000 м ³
Природный газ, транспортируемый по МГ в НП	5 000 м ³ и более	От 50 до 5 000 м ³
ОВ, транспортируемые по промысловым трубопроводам, в т.ч.: газопроводы-шлейфы, газосборные коллекторы, газопроводы неочищенного газа, трубопроводы стабильного и нестабильного газового конденсата, газопроводы нефтегазосборные трубопроводы, нефтепроводы	10 000 м ³ и более 10 т и более	От 100 до 10 000 м ³ От 1 до 10 т
Природный газ, транспортируемый по сетям газораспределения/газопотребления вне НП	100 м ³ и более	От 10 до 100 м ³
Природный газ, транспортируемый по сетям газораспределения/газопотребления в НП	10 м ³ и более	От 1 до 10 м ³

Достижение и превышение предельно допустимых уровней отклонения параметров технологического режима свидетельствуют о начале развития предаварийной ситуации. Превышение критических уровней отклонения параметров технологического режима в большинстве случаев ведет к возникновению аварии.

При достижении отклонений технологических параметров критических уровней (фактически это уже не отклонения, а аварийные превышения) резко увеличивается возможность разрушений и возникновения аварий, а попадание в закритическую область практически детерминировано приводит к возникновению аварий с возможностью реализации сценариев крупной аварии.

Дистанционный контроль должен учитывать не только степень отклонений параметров от установленного режима технологического процесса, но и частоту фиксации (относительно фоновых значений) предупредительных и предельно допустимых уровней, с учетом которой можно оперативно судить о фактах возникновения предпосылок к инцидентам и самих инцидентов.

Возможная степень отклонений значений параметров технологического режима в дистанционном контроле и классификации по ним предпосылок к инцидентам, инцидентов, аварий и крупных аварий на ОПО НГК представлены на Рис. 11.

Область регламентированных значений		Область опасных значений		Область докритических (буферная зона) и критических значений		Область закритических значений	
Регламентированные значения	Предупредительный уровень	Опасные значения	Предельно допустимый уровень	Докритические значения	Критический уровень	Закритические значения	
нарушений в СУПБ/ПК в предпосылки инцидентов		предпосылок инцидентов в инциденты		инцидентов в аварию		аварии в крупную аварию	
Возможно перерастание							

Рис. 11. Иллюстрация степени отклонений значений параметров технологического режима на ОПО НГК

В целях выявления наиболее высокорисковых ОПО НГК, территорий и подотраслей разработан классификатор (чрезвычайно высокой, высокой, средней и низкой) степени риска аварии на ОПО с использованием разработанных рискоориентированных показателей и критериев категорирования ОПО (см. Табл. 9, Табл. 11).

Для установления категории опасности производственного объекта по уровню риска аварии проводят сравнение рассчитанных для ОПО показателей опасности с обобщенными критериями категорирования аварийной опасности (см. Табл. 11). Верхние значения диапазонов показателей опасности аварий ОПО с высоким риском аварии (Табл. 9–Табл. 11) характеризуют возможность возникновения крупных аварий, а на ОПО с чрезвычайно высоким риском аварии – особо крупных аварий.

В рамках подсистемы «дорожная карта» в зависимости от обстановки, характера и масштаба реальной аварийной опасности и прогнозируемой угрозы крупных аварий в системе ОПО НГК могут устанавливаться следующие режимы функционирования:

режим проектной опасной деятельности (зеленая «карта опасностей») – исполнение плановых функций по контролю и надзору в сфере промышленной безопасности;

режим повышенной аварийной опасности (оранжевая «карта опасностей») – исполнение функций по внеплановому контролю и надзору в сфере промышленной безопасности на высокорисковых ОПО НГК;

режим угрозы крупных аварий (красная «карта опасностей») – перевод органов управления, сил и средств функциональной подсистемы контроля за химически опасными и взрывопожароопасными объектами единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в режим повышенной готовности к оперативно-тактической локализации последствий реализации угрозы крупной аварии на конкретном поднадзорном ОПО НГК.

Табл. 11

Показатели и критерии категорирования аварийной опасности производственных объектов НГК

Категория опасности ОПО НГК по уровню риска аварии	Наименование показателя и значения критериев аварийной опасности производственных объектов по уровню риска аварии							
	1) наличие третьих лиц в зонах смертельного поражения при наиболее опасном по последствиям сценарии аварии*	2) количество человек, у которых могут быть нарушены условия жизнедеятельности при НОА	3) возможное количество погибших при НОА	4) условная вероятность эскалации аварии	5) кратность превышения индивидуального риска гибели персонала от аварий по сравнению со среднеотраслевым уровнем	6) условная вероятность гибели при аварии более 10 чел. из числа третьих лиц	7) возможный аварийный разлив нефти и нефтепродуктов, т	8) возможный материальный ущерб при НОА, млн руб.
							на местности и во внутренних пресноводных водоемах	в море
Чрезвычайно высокий риск аварии	Населенные пункты или места массового скопления людей	Более 1500	Более 50	Более 0,5	Более 10	Более 0,1	Более 1000	Более 5000
Высокий риск аварии	Транспортные магистрали	От 300 до 1500	От 10 до 50	0,2–0,5	1–10	0,01–0,1	500–1000	1000–5000
Средний риск аварии	Постоянно находятся третьи лица	От 75 до 300	От 5 до 10	0,05–0,2	0,1–1	0,001–0,01	100–500	500–1000
Малый риск аварии	Эпизодически находятся третьи лица	До 75	До 5	Менее 0,05	Менее 0,1	Менее 0,001	До 100	До 500
								Менее 10

* НОА - наиболее опасный по последствиям сценарий аварии

Практические результаты теоретических исследований причин и последствий российских и зарубежных крупных аварий formalизованы в разработанную долгосрочную концепцию поэтапного создания, обслуживания и развития КСР-О, в ходе разработки, апробации и внедрения отдельных структурных элементов которой подтверждено, что:

1. Безопасное производство и безопасный труд в промышленности, как важнейшие ценности индустриальной России, требуют специального научно-технического и социально-экономического обслуживания в кризисе индустриализма.
2. Модернизированная система обеспечения промышленной безопасности должна базироваться на актуальных данных о структуре существующих опасностей и угроз крупных аварий не только на отдельном ОПО, сколько в системе ОПО.
3. Для предупреждения крупных аварий более важно отслеживать не сам факт проявления угрозы, а приближение состояния ОПО к переходному моменту вызревания реальных угроз из многочисленных предаварийных опасностей. Современный риск-ориентированный анализ должен фокусироваться на исследовании состояний перехода аварийной опасности в угрозу крупных аварий.

Разработанные в исследовании концептуальные подходы анализа опасностей и предупреждения крупных аварий использованы в одобренной Ростехнадзором 31.12.2014 г. Концепции (состава и структуры) комплексной системы прогнозирования, выявления, анализа и оценки рисков аварий на объектах топливно-энергетического комплекса и смежных отраслей промышленности (госконтракт № 32-ГК/2014).

В **заключении** диссертации изложены итоги выполненного исследования, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки в области анализа опасностей и оценки риска крупных аварий для необходимого обеспечения промышленной безопасности на ОПО НГК в современных российских условиях.

Основные научные выводы, теоретические и практические результаты диссертационного исследования:

1. Ретроспективный анализ научно-технической проблемы опасностей и угроз крупных аварий показал, что с середины XX в. они обозначили фундаментальный предел опасного расширения технологий классического индустриализма; современные крупные аварии – это явление резкого и необратимого роста информационно-энергетической разупорядоченности сложных технико-социальных индустриальных систем в кризисных состояниях, когда традиционные меры защищенности от известных опасностей становятся неадекватными новым угрозам в переходных процессах.

В работе предложена риск-ориентированная модель структуры техногенных опасностей современных крупных аварий, включающая оценку значимости социальных,

хозяйственных и статусных аварийных потерь и поставаний последствий крупных аварий при проведении опасных технологических модернизаций.

2. Угрозы крупных аварий сигнализируют о возникновении фундаментальных технико-социальных опасностей при выборе и реализации защитного или имитационного направления технологической модернизации. Разработаны и получены оценки риск-ориентированных индикаторов аварийных опасностей в нефтедобывающей промышленности, в нефтегазопереработке и на магистральном трубопроводном транспорте, показавшие значительное возрастание угроз крупных аварий в 1990-х гг.:

в 1990-х гг. при спаде нефтедобычи на 40 %, почти четырехкратном снижении производительности труда и трехкратном сокращении объемов эксплуатационного бурения абсолютный смертельный производственный травматизм оставался на уровне 20–28 погибших/год, а относительный – вырос почти на 70 % (с 5,2 до 8,8 смертей/100 млн т), а последующий восстановительный трехкратный рост производительности труда сопровождался почти двукратным ростом риска гибели российских нефтяников;

на магистральном трубопроводном транспорте в 1990-х гг. удельная аварийность на грузооборот резко выросла более чем в 7 раз и только в начале 2010-х гг. вернулась к дореформенным уровням.

Установлено, что для оценки опасностей и угроз крупных аварий традиционные индикаторы аварийности и травматизма необходимо дополнять специальными риск-ориентированными показателями возможности и степени тяжести (крупных) промышленных аварий: удельными для отдельных ОПО НГК и абсолютными для системы поднадзорных ОПО НГК.

3. Разработаны риск-ориентированные принципы обоснования безопасности и научно-методические подходы установления допустимых уровней аварийного риска, классификации аварийных происшествий и определения степени опасности возможных аварий, которые реализованы в действующих нормативах Ростехнадзора в сфере обоснования безопасности, анализа опасностей и оценки риска аварий, а также апробированы при проведении экспертизы промышленной безопасности, разработке деклараций промышленной безопасности и обоснований безопасности ОПО НГК.

Показано, что критерии допустимого риска аварии необходимо устанавливать в соответствии с отраслевым уровнем аварийных угроз, в т.ч. крупных аварий на ОПО НГК. Вследствие значительного разнообразия возможных причин аварий, сценариев их возникновения и развития, широкого спектра возможных последствий промышленных аварий установление абсолютно одинаковых критериев допустимого риска аварии для разных ОПО НГК не представляется возможным: допустимый риск аварии как мера приемлемой опасности не может приниматься единственным критерием обеспечения промышленной безопасности ОПО НГК. Основным критерием обеспечения безопасной

эксплуатации ОПО целесообразно рассматривать совокупность предельных значений параметров безопасной эксплуатации и условий отсутствия угроз крупных аварий при полном выполнении действующих требований промышленной безопасности.

4. Практические результаты теоретических исследований причин и последствий российских и зарубежных крупных аварий formalизованы в разработанную долгосрочную научно-техническую концепцию информационно-аналитической системы риска-ориентированного предупреждения угроз крупных аварий в системе поднадзорных ОПО НГК, включающую динамическую карту опасностей крупных аварий с классификаторами аварийных происшествий и степени риска аварий. Система риска-ориентированного предупреждения крупных аварий необходима для: безопасной технологической модернизации ОПО НГК; адаптации подсистемы промышленной безопасности к новым пореформенным угрозам и вызовам; усовершенствования всей системы национальной безопасности индустриальной России.

5. На основании выполненных автором исследований в диссертационной работе разработаны теоретические положения риска-ориентированного анализа опасностей и угроз крупных промышленных аварий в отечественном нефтегазовом комплексе, решена научно-методическая проблема обоснованного отступления от индустриальных норм безопасности для модернируемых технологических процессов, а также изложены новые научно обоснованные технологические решения установления допустимого риска аварии для оценки достаточности компенсирующих мер на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса.

В перспективных тематических исследованиях целесообразна дальнейшая научно-техническая разработка:

риска-ориентированных индикаторов аварийной опасности и антиаварийной защищенности: показателей, связывающих случайные величины ущербов от крупных аварий и времени между ними в больших межотраслевых системах ОПО НГК;

показателей надзорной деятельности как изменения удельной разницы риска потерь собственника из-за допущения снижения защищенности от аварий (возмещение вреда плюс санкции) и риска причинения вреда имуществу собственника;

методического обеспечения подсистемы промышленной безопасности в системе безопасности России для концептуального перехода от поставаийного реагирования к государственному планированию защищенности от крупных аварий на основе мониторинга полного риска издержек аварийности и травматизма при долгосрочной безопасной эксплуатации технологически модернируемых ОПО НГК.

Для перспективных исследований и предотвращения угроз крупных аварий необходимы детализированный структурно-функциональный анализ обеспечения промышленной безопасности в России и разработка методического обеспечения противоаварийной защищенности в системе отечественных ОПО НГК.

Список публикаций, в которых отражены основные научные результаты диссертации:

*Статьи в рецензируемых научных изданиях,
рекомендованных ВАК при Минобрнауки России*

1. Гражданкин, А.И. Оценка риска аварий на магистральных нефтепроводах КТК-Р и БТС / Ю.А. Дадонов, М.В. Лисанов, А.И. Гражданкин, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров, Д.В. Дегтярев, С.И. Сумской // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 6. – С. 2–6.
2. Гражданкин, А.И. Научно-технический семинар «Промышленная безопасность» // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 6. – С. 44–45.
3. Гражданкин, А.И. Анализ риска аварий на нефтепроводных системах КТК-Р и БТС / А.И. Гражданкин, Д.В. Дегтярев, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров // Безопасность жизнедеятельности. – 2002. – № 6. – С. 17–22.
4. Гражданкин, А.И. Основные показатели риска аварии в терминах теории вероятностей / А.И. Гражданкин, Д.В. Дегтярев, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 7. – С. 35–39.
5. Гражданкин, А.И. Опасность и безопасность // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 9. – С. 41–43.
6. Гражданкин, А.И. Риск аварии и оценка нежелательных потерь / А.И. Гражданкин, Д.В. Дегтярев, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин // Безопасность жизнедеятельности. – 2002. – № 11. – С. 7–11.
7. Гражданкин, А.И. Показатели и критерии опасности промышленных аварий / А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров // Безопасность труда в промышленности. – 2003. – № 3. – С. 30–32.
8. Гражданкин, А.И. Особенности анализа и оценки последствий аварий на опасных производственных объектах // Безопасность труда в промышленности. – 2003. – № 8. – С. 45–46.
9. Гражданкин, А.И. Мнение специалистов ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность» об опубликованных в журнале «Безопасность жизнедеятельности» №8 за 2003 г. замечаниях по РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов / А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин // Безопасность жизнедеятельности. – 2003. – № 12. – С. 48–50.
10. Гражданкин, А.И. Управление риском: миф или реальность // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – № 1. – С. 48–49.
11. Белов, П.Г. Стандартизация и регламентация в сфере безопасности: реалии и перспективы / П.Г. Белов, А.И. Гражданкин, Н.А. Махутов // Стандарты и качество. – 2004. – № 2. – С. 26–33.
12. Гражданкин, А.И. Стандартизация и регламентация в сфере безопасности / Н.А. Махутов, А.И. Гражданкин, П.Г. Белов // Управление риском. – 2004. – № 1. – С. 16–23.
13. Гражданкин, А.И. Стандартизация и регламентация в сфере безопасности / Н.А. Махутов, А.И. Гражданкин, П.Г. Белов // Управление риском. – 2004. – № 2. – С. 36–40.
14. Гражданкин, А.И. О влиянии «управления комплексным риском» на рост угроз техногенного характера / А.И. Гражданкин, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – № 3. – С. 38–42.

15. Пчельников, А.В. Оценка риска аварий на объектах хранения и перевалки нефти и нефтепродуктов / А.В. Пчельников, А.И. Гражданкин, И.А. Кручинина, С.И. Сумской, Ю.А. Дадонов, М.В. Лисанов //Безопасность труда в промышленности. – 2004. – № 6. – С. 33–37.
16. Гражданкин, А.И. Оценка техногенного риска: техническое регулирование, стандартизация, критерии приемлемости // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – № 7. – С. 59–61.
17. Белов, П.Г. Менеджмент техногенного риска: категории, принципы, методы/ П.Г. Белов, А.И. Гражданкин // Стандарты и качество. – 2004. – № 7. – С.36–41.
18. Гражданкин, А.И. Основные принципы оценивания и нормирования приемлемого техногенного риска / И.Л. Можаев, А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, А.В. Пчельников, П.Г. Белов //Безопасность труда в промышленности. – 2004. – № 8. – С. 45–50.
19. Гражданкин, А.И. Характерные ошибки анализа риска аварий при декларировании промышленной безопасности / А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров //Безопасность труда в промышленности. – 2004. – № 10. – С. 6–12.
20. Гражданкин, А.И. Количественная оценка риска аварий в декларациях промышленной безопасности опасных производственных объектов топливно–энергетического комплекса / А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – 2005. – № 1. – С. 46–49.
21. Гражданкин, А.И. Современные методы анализа техногенного риска в работах молодых ученых // Безопасность труда в промышленности. – 2005. – № 1. – С. 60–61.
22. Гражданкин, А.И. Критически важные для национальной безопасности опасные производственные объекты. Показатели, критерии и порядок их категорирования //Безопасность труда в промышленности. – 2005. – № 5. – С. 46–48.
23. Гражданкин, А.И. Промышленная и экологическая безопасность опасных производственных объектов // Безопасность труда в промышленности. – 2005. – № 6. – С. 55–56.
24. Гражданкин, А.И. Экологическая экспертиза как составная часть обеспечения экологической безопасности опасных производственных объектов. Проблемы и возможные пути развития / А.И. Гражданкин, А.В. Ферапонтов // Безопасность труда в промышленности. – 2005. – № 9. – С. 27–30.
25. Гражданкин, А.И. Программные средства в области анализа техногенного риска //Безопасность труда в промышленности. – 2005. – № 12. – С. 61–63.
26. Лисанов, М.В. Анализ риска аварий на нефтепроводных системах БТС и МН «Дружба» / М.В. Лисанов, А.И. Гражданкин, А.В. Пчельников, А.В. Савина, С. И. Сумской //Безопасность труда в промышленности. – 2006. – № 1. – С. 34–40.
27. Гражданкин, А.И. О противодействии технологическому терроризму / Е.И. Иванов, А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.В. Ферапонтов // Безопасность труда в промышленности. – 2006. – № 1. – С. 52–53.
28. Гражданкин, А.И. Об установлении в специальных технических регламентах минимально необходимых требований, обеспечивающих безопасность объектов технического регулирования // Безопасность труда в промышленности. – 2006. – № 3. – С. 11–14.
29. Гражданкин, А.И. Об учете степени риска причинения вреда при установлении в технических регламентах минимально необходимых требований безопасности / А.И. Гражданкин //Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2006. – № 3. – С. 8–13.

30. Гражданкин, А.И. Особенности обеспечения промышленной безопасности при эксплуатации опасных производственных объектах в современных условиях / А.И. Гражданкин, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – 2007. – № 4. – С. 22–16.
31. Гражданкин, А.И. Безопасная эксплуатация опасных производственных объектов // Стандарты и качество. – 2007. – № 7. – С. 48–52.
32. Гражданкин, А.И. Критерии приемлемого риска // Безопасность труда в промышленности. – 2007. – № 6. – С. 69.
33. Гражданкин, А.И. Анализ техногенного риска в работах молодых ученых // Безопасность труда в промышленности. – 2007. – № 12. – С. 69.
34. Гражданкин, А.И. Обеспечение промышленной безопасности на опасных производственных объектах угольной промышленности // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – № 2. – С. 17–21.
35. Гражданкин, А.И. Научно–техническая инволюция в отечественной промышленности. Предупреждение аварийности и травматизма // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – № 3. – С. 26–31.
36. Гражданкин, А.И. Показатели и критерии приемлемой опасности промышленной аварии // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – № 6. – С. 52.
37. Гражданкин, А.И. Оценка прямого и косвенного техногенного ущерба // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – № 11. – С. 59–60.
38. Гражданкин, А.И. Анализ опасностей и оценка техногенного риска в исследованиях молодых ученых // Безопасность труда в промышленности. – 2009. – № 6. – С. 53–54.
39. Гражданкин, А.И. Безопасность техносфера и управление риском. Мифы и реальность // Стандарты и качество. – 2009. – № 4.– С. 84–88.
40. Гражданкин, А.И. Об оценке фонового риска промышленных аварий в ТЭК / А.И. Гражданкин, В.И. Иванов // Безопасность труда в промышленности. – 2009. – № 3. – С. 79–81.
41. Гражданкин, А.И. Промышленная безопасность – оберегающая сфера отечественного производства // Безопасность труда в промышленности. – 2009. – № 9. – С. 54–58.
42. Гражданкин, А.И. Безопасность труда в промышленности – оберегающая сфера отечественного производства // Безопасность в техносфере. – 2009. – № 5. – С. 44–49.
43. Гражданкин, А.И. Имитационная модернизация: от безопасности к рискам / А.И. Гражданкин, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – 2010. – № 2. – С. 38–42.
44. Гражданкин, А.И. Промышленная безопасность в отечественной добыче угля и нефти / А.И. Гражданкин, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров // Безопасность труда в промышленности. – 2010. – № 3. – С. 40–47.
45. Гражданкин, А.И. Промышленная безопасность отечественной и мировой угледобычи / А.И. Гражданкин, А.С. Печеркин, М.А. Иофис // Безопасность труда в промышленности. – 2010. – № 9. – С. 36–43.
46. Лисанов, М.В. Методическое обеспечение обязательного страхования гражданской ответственности владельцев опасных объектов / М.В. Лисанов, А.И. Гражданкин, И.А. Кручинина, А.В. Пчельников // Безопасность труда в промышленности. – 2010. – № 9. – С. 49–51.
47. Гражданкин, А.И. Крупные промышленные аварии: из углепрома в постиндустрию // Безопасность труда в промышленности. – № 8. – 2011. – С. 58–62.

48. Гражданкин, А.И. Угольные катастрофы в исторической России и мире / А.И. Гражданкин, А.С. Печеркин, М.А. Иофис // Безопасность труда в промышленности. – 2011. – № 11. – С. 56–64.
49. Гражданкин, А.И. В каком смысле безопасность? // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – № 3.– С. 81–85.
50. Гражданкин, А.И. Мнимый конфликт промышленной безопасности и технологической модернизации в российской нефтегазопереработке/ А.И. Гражданкин, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров // Безопасность труда в промышленности. – 2012. – № 7. – С. 85–92.
51. Гражданкин, А.И. Заменит ли количественная оценка риска выполнение требований промышленной безопасности? / А.И. Гражданкин, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров // Безопасность труда в промышленности. – 2012. – № 10. – С. 43–48.
52. Гражданкин, А.И. О риске свободы в безопасности (Что модернизировать в России: запреты «безопасности» или разрешение «свободы»?) / К.Б. Пуликовский, А.И. Гражданкин // Безопасность в техносфере. – 2013. – Т. 2 – № 4 (43). – С. 71–77.
53. Гражданкин, А.И. Исследование аварий в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности США. Правовая практика и уроки / А.И. Гражданкин, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 7.– С. 58–66.
54. Гражданкин, А.И. Российская промышленность и промышленные опасности в переходный период. Аварийность и травматизм деиндустриализации / К.Б. Пуликовский, А.И. Гражданкин // Безопасность в техносфере. – 2013. – Т. 2 – № 6(45). – С. 64–69.
55. Гражданкин, А.И. Анализ опасностей и оценка риска аварий в обосновании промышленной безопасности // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 6. – С. 90–92.
56. Гражданкин, А.И. Методическое обеспечение анализа опасностей и оценки риска промышленных аварий // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 6. – С. 82–85.
57. Гражданкин, А.И. Анализ опасностей и оценка риска промышленных аварий в руководствах по безопасности // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 12. – С. 75–78.
58. Гражданкин, А.И. Допустимый риск – мера неприемлемой опасности промышленной аварий / А.И. Гражданкин, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров // Безопасность труда в промышленности. – 2015. – № 3. – С. 66–70.
59. Гражданкин, А.И. Методические проблемы обоснования безопасности опасного производственного объекта // Безопасность труда в промышленности. – 2015. – № 6. – С. 76–78.
60. Гражданкин, А.И. Показатели опасности аварий на российских магистральных трубопроводах / С. Г. Радионова, С. А. Жулина, Т.А. Кузнецова, А.С. Печёркин, И.А. Кручинина, А.И. Гражданкин // Безопасность труда в промышленности. – 2015. – № 11. – С. 62–69.
61. Гражданкин, А.И. Практика оценки риска аварий на опасных производственных объектах // Безопасность труда в промышленности. – 2015. – № 12. – С. 80–81.
62. Гражданкин, А.И. Об индикаторах опасностей крупных промышленных аварий в угольных шахтах // Безопасность труда в промышленности. – 2016. – № 4. – С.52–58.

63. Гражданкин, А.И. Параметры и показатели опасности крупных промышленных аварий в угольных шахтах // Социально-гуманитарные знания. – 2016. – Т. 8. – С. 255–273.

64. Гражданкин, А.И. Фоновые показатели аварийности – индикаторы эффективности введения инструментов регулирования промышленной безопасности/ А.И. Гражданкин, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – 2017. – № 5. – С. 5–8.

Монографии

65. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ риска и проблем безопасности: в 4 ч. – М.: МГФ «Знание». – Ч. 1: Основы анализа и регулирования безопасности / науч. рук. К.В. Фролов. – 2006. – 640 с.

66. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ риска и проблем безопасности: в 4 ч. – М.: МГФ «Знание». – Ч. 2: Безопасность гражданского и оборонного комплексов и управление рисками / науч. рук. К.В. Фролов. – 2006. – 752 с.

67. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ риска и проблем безопасности: в 4 ч. – М.: МГФ «Знание». – Ч. 3: Прикладные вопросы анализа рисков критически важных объектов / науч. рук. К.В. Фролов. – 2007. – 816 с.

68. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ риска и проблем безопасности: в 4 ч. – М.: МГФ «Знание». – Ч. 4: Научно–методическая база анализа риска и безопасности / науч. рук. К.В. Фролов. – 2007. – 864 с.

69. Гражданкин, А.И. Предотвращение аварий и техногенных катастроф/ Актуальные вопросы предупреждения чрезвычайных ситуаций: моногр./ под общ. ред. В.А. Акимова. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2010. – С. 47–73.

70. Гражданкин, А.И. Современные опасности крупных промышленных аварий//ВНИИ ГОЧС: вчера, сегодня, завтра. – Кн. 3: Научные статьи/ под. общ. ред. В.А. Акимова. – М.: ВНИИГОЧС. – 2011. – С. 293–298.

71. Белая книга России: Строительство, перестройка и реформы: 1950–2012 гг. / сост. А.И. Гражданкин, С. Г. Кара-Мурза. // Будущая Россия. – № 24. – М.: Либорком, 2013. – 560 с.

72. Белая книга России. Строительство, перестройка и реформы: 1950–2013 гг. / сост. А.И. Гражданкин, С. Г. Кара-Мурза. – М.: Научный эксперт, 2015. – 728 с.

73. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Научные основы техногенной безопасности / Колл. авт. – М: МГФ «Знание». – 2015. – 936 с.

74. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Управление ресурсом эксплуатации высокорисковых объектов/ Колл. авт. – М: МГФ «Знание». – Тематический блок «Национальная безопасность» / ред. Махутов Н.А. Том «Управление ресурсом эксплуатации высокорисковых объектов» – 2015. – 600 с.

75. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Управление ресурсом эксплуатации высокорисковых объектов/ Колл. авт. – М: МГФ «Знание». – Тематический блок «Национальная безопасность» / ред. Махутов Н.А. Том. 1. Обоснование прочности и безопасности объектов континентального шельфа – 2015. – 664 с.

76. Белая книга: промышленность и строительство в России 1950–2014 гг. / сост. А.И. Гражданкин, С. Г. Кара-Мурза // Центр изучения кризисного общества. – М.: Научный эксперт; М.: ТД Алгоритм, 2016. – 224 с.

Статьи в других журналах и сборниках научных трудов

77. К вопросу об использовании вероятностных оценок для анализа безопасности опасных производственных объектов / А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, П.Г. Белов // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: Труды Международной Научной Школы МА БР–2002 (Санкт-Петербург, 2–5 июля 2002 г.). – СПб: Изд-во «Бизнес-Пресса». – 2002 – С. 308–312.
78. Показатели и критерии опасности промышленных аварий / А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров // Международная научно-практическая конференция «Промышленная безопасность»: тезисы докладов. – М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. – С. 101–108.
79. Гражданкин, А.И. Риск аварии // Берг-коллегия. – 2003. – №3. – С. 8–11.
80. Гражданкин, А.И. Анализ результатов оценок риска аварий, представленных в декларациях промышленной безопасности / А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов // Семинар «Об опыте декларирования промышленной безопасности и страхования ответственности. Развитие методов оценки риска аварий на опасных производственных объектах». 14–15 октября 2003 г.: тезисы докладов. – М.: ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. – С. 29–35.
81. Гражданкин, А.И. Критически важные для национальной безопасности опасные производственные объекты. Показатели, критерии и порядок категорирования//Об опыте декларирования промышленной безопасности и страхования ответственности. Развитие методов оценки риска аварий на опасных производственных объектах. 5-й тем. семинар. Москва, 26–27 октября 2004 г.: тезисы докладов. – М.: ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2004. – С. 98–105.
82. Гражданкин, А.И. Риск крупных аварий на опасных производственных объектах / А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, С.В. Филяев // Об опыте декларирования промышленной безопасности и страхования ответственности. Развитие методов оценки риска аварий на опасных производственных объектах. 5-й тем. семинар. Москва, 26–27 октября 2004 г.: тезисы докладов. – М.: ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2004. – С. 111–115.
83. Гражданкин, А.И. Прогнозирование и оценка степени приемлемости риска аварии на опасных производственных объектах / А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.В. Пчельников // Проблемы управления безопасностью сложных систем: труды XII международной конференции (Москва, декабрь 2004 г.). – М: РГГУ, 2005. – С. 267–270.
84. Гражданкин, А.И. Некоторые особенности обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов в условиях современных производственных отношений // XII Международная научно-практическая конференция "Междисциплинарные исследования проблем обеспечения безопасности жизнедеятельности населения в современных условиях" 18–20 апреля 2007. – М.: ЦСИ МЧС России, 2007. – С. 49.
85. Гражданкин, А.И. Основные принципы нормирования допустимого техногенного риска/ А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.В. Пчельников // Актуальные проблемы регулирования природной и техногенной безопасности в XXI веке. Материалы десятой Международной научно-практической конференции по проблемам защиты

- населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. 19–21 апреля 2005 г./МЧС России. – М.: Ин-октаво, 2005 – С. 155–163.
86. Гражданкин, А.И. Как оценить риск промышленной аварии // Риск–менеджмент. – 2007. – № 5–6.– С. 106–108.
87. Гражданкин, А.И. Безопасная эксплуатация опасных производственных объектов в условиях современных производственных отношений / А.И. Гражданкин, В.И. Сидоров // Проблемы безопасности критичных инфраструктур муниципальных образований и территорий: тезисы докладов Всероссийской конференции и XI Школы молодых ученых. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – С. 18–24.
88. Гражданкин, А.И. Трагедия технического регулирования // Методы оценки соответствия. – 2007. – № 9.– С. 46–47.
89. Гражданкин, А.И. Инволюция безопасности. «Другой взгляд» на данные об аварийности и травматизме в российской нефтедобыче // Oil&Gas Jornal Russia. – 2008. – № 5. – С. 98–100.
90. Гражданкин, А.И. Предупреждение аварийности и травматизма на опасных производственных объектах угольной промышленности // Библиотека инженера по охране труда. – 2008. – № 5. – С. 18–27.
91. Гражданкин, А.И. Научно-техническая инволюция в отечественной промышленности. Предупреждение аварийности и травматизма // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: труды Международной научной школы МА БР – 2008 (Санкт-Петербург, 24–28 июня, 2008 г.) / под ред. И.А. Рябинина, Е.Д. Соложенцева – СПб.: ГУАП, 2008. – С. 193–201.
92. Гражданкин, А.И. Неприемлемый риск «внешнего разрегулирования» // Методы оценки соответствия. – 2009. – № 3.– С. 8–10.
93. Гражданкин, А.И. Управление риском как основа обеспечения безопасности техносферы на периферии прогресса // Безопасность критичных инфраструктур и территорий: сборник трудов I и II Всероссийских конференций и XI и XII школ молодых ученых 2007–2008 гг. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – С. 74–86.
94. Гражданкин, А.И. От управления к менеджменту «рисков» // Безопасность критичных инфраструктур и территорий: Сборник трудов III Всероссийской конференций и XIII Школы молодых ученых 2009 г. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – С. 24–26.
95. Гражданкин, А.И. О безопасности труда на периферии прогресса // Охрана труда и социальное страхование. – 2008. – № 12. – С. 23–30.
96. Гражданкин, А.И. Техническое регулирование: неприемлемый риск // Охрана труда и социальное страхование – № 3. – 2009. – С. 38–45.
97. Гражданкин, А.И. Цивилизационный подход к организации безопасного труда // Охрана труда и социальное страхование. – 2009. – № 11. – С. 35–40.
98. Гражданкин, А.И. Реформа технического регулирования: подмена безопасности «рисками» // Национальная безопасность: научное и государственное управленическое содержание: материалы Всеросс. науч. конф., 4 дек. 2009 г., Москва / Центр пробл. анал. и гос.-упр. проект. – М.: Научный эксперт, 2010. – С. 238–251.
99. Гражданкін, О.І. Уроки реструктуризації // Промислова безпека. – 2010. – № 10.– С. 18–21.
100. Гражданкін, О.І. Безопасная модернизация постсоветской промтехносферы // Промислова безпека. – 2010. – № 12.– С. 26–31.
101. Гражданкин, А.И. Неприемлемый риск технического регулирования в промышленной безопасности // Химическая техника. – 2011. – № 1. – С. 23–26.

102. Гражданкін, О.І. Теория управления рисками. Мифы и реальность // Промислова безпека. – 2011. – № 1.– С. 26–29.
103. Гражданкин, А.И. Современные опасности крупных промышленных аварий. Опыт индустриального мира. Уроки для Украины // Промислова безпека. – 2011. – № 10.– С. 18–24.
104. Гражданкин, А.И. Историография отечественных угольных катастроф // Промислова безпека. – 2012. – № 4.– С. 42–51.
105. Гражданкин, А.И. О риск-ориентированном подходе в обеспечении промышленной безопасности // Промислова безпека. – 2012. – № 5. – С. 42–45.
106. Гражданкин, А.И. К риск-ориентированной промбезопасности //Методы оценки соответствия. – 2012. – № 7. – С. 18–23.
107. Гражданкин, А.И. Риск-ориентированный подход и критерии приемлемого риска промышленных аварий // Промислова безпека. – 2012. – № 6.– С. 36–39.
108. Гражданкин, А.И. Риск-ориентированный подход в промышленной безопасности. Тактические задачи и долгосрочные цели // Промислова безпека. – 2012. – № 7.– С. 46–47.
109. Гражданкин, А.И. Угольные катастрофы в исторической России // Сборник докладов II Международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» / Национальный минерально-сырьевая университет «Горный». – СПб, 2014.–С. 35–37.
110. Гражданкин, А.И. О параметрах, показателях и критериях в обосновании безопасности опасного производственного объекта// Всероссийская научно-практическая конференция «Промышленная безопасность-2014. Особенности законодательного регулирования и правоприменения», 21 мая 2014 г.: Тезисы докладов. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2014. – С. 39–42.
111. Гражданкин, А.И. Методические подходы установления допустимого риска аварии для обоснования безопасности опасного производственного объекта / С.Г. Радионова, С.А. Жулина, А.И. Гражданкин, И.Д. Насонов // Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы промышленной безопасности», 20 мая 2015 г.: Тезисы докладов. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2015 – С. 84–90.
112. Гражданкин, А.И. Подходы установления допустимого риска аварии на опасных производственных объектах // Глобальная и национальные стратегии управления рисками катастроф и стихийных бедствий. XX Международная научно-практическая конференция по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций: Тезисы докладов. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). – 2015. – С. 34–36.
113. Гражданкин, А.И. Индикаторы опасностей и угроз крупных промышленных аварий в угольных шахтах // Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы промышленной безопасности в горнорудной, угольной и металлургической промышленности» 18 мая 2016 г.: Тезисы докладов. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. – С. 43–46.
114. Гражданкин, А.И. Фоновые показатели аварийности – индикаторы эффективности введения инструментов регулирования промышленной безопасности/ А.И. Гражданкин, А.С. Печеркин // Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 20-летию принятия № 116-ФЗ «О промышленной безопасности ОПО», 19 мая 2017 г.: Тезисы докладов. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2017. – С. 15–21.