

На правах рукописи

Гражданкин Александр Иванович

АНАЛИЗ ОПАСНОСТЕЙ И ОЦЕНКА РИСКА КРУПНЫХ АВАРИЙ
В НЕФТЕГАЗОВОЙ И УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

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

05.26.03 – «Пожарная и промышленная безопасность
(в горной промышленности)»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва - 2016

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:	Печеркин Андрей Станиславович , доктор технических наук, профессор, Закрытое акционерное общество «Научно–технический центр исследований проблем промышленной безопасности», первый заместитель генерального директора
Официальные оппоненты:	Тимашев Святослав Анатольевич , доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-инженерный центр "Надежность и ресурс больших систем и машин" Уральского отделения Российской академии наук, главный научный сотрудник Ибадулаев Владислав Асанович , доктор технических наук, профессор, ООО «Научно-технический центр «Технологии и безопасности», технический директор Каледина Нина Олеговна , доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»), кафедра «Безопасность и экология горного производства» Московского горного института, профессор кафедры
Ведущая организация:	Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (федеральный центр науки и высоких технологий), Москва (ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ))

Защита состоится 22 декабря 2016 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, ул. Переведеновский переулок, 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/7/dissertaciya.Grazhdankin.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 «___» ноября 2016 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 опыт стал научно-технической основой российской системы обеспечения промышленной безопасности опасных производственных объектов (далее – ОПО).

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

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

Современное развитие отечественной промышленности требует безопасной технологической модернизации. Становятся актуальными исследования изменяющихся техногенных опасностей промышленных аварий и всей действующей системы обеспечения промышленной безопасности для разработки и реализации неотложных, средне- и долгосрочных мер предупреждения угроз крупных аварий на современных высокорисковых ОПО нефтегазовой и угольной промышленности – наиболее энергоемких и опасных.

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 (ООН-1992) и предотвращении крупных промышленных аварий (МОТ-1993), которые послужили основой разработки и широкого внедрения наряду с традиционными детерминистскими вероятностных 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 и 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 ЗАО НТЦ ПБ, ВНИИГАЗ, ВНИИПО, ИМАШ РАН, ИПКОН РАН, ВНИИГОЧС, ВМА-ЛВМ-СПб, НИИ Транснефть, РГУ нефти и газа, МГГУ, МГТУ, НИЦ «НИР БСМ», ИПТЭР, НИИОГР, ВостНИИ и др. Вместе с тем в распространенных 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 высокоопасных производственных объектов как индикаторов кризисных явлений. Рост опасностей и 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 – риск-ориентированное обеспечение промышленной безопасности с формированием методических подходов анализа опасностей и оценки риска крупных аварий в нефтегазовой и угольной промышленности для концептуальной разработки и внедрения информационно-аналитической системы риск-ориентированного предупреждения их угроз.

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

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

1) провести ретроспективный и сравнительный анализ возникновения, развития и современного состояния научно-технической проблемы опасностей и угроз крупных аварий в отечественной и зарубежной нефтегазовой и угольной промышленности;

2) провести научно-технический анализ опасностей и новых угроз крупных аварий для ОПО нефтегазовой и угольной промышленной, разработать и оценить фоновые риск-ориентированные показатели их опасностей на объектах нефтегазодобычи, нефтегазопереработки, магистрального трубопроводного транспорта и подземной добычи угля;

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

4) разработать концепцию информационно-аналитической системы риск-ориентированного предупреждения угроз крупных аварий на ОПО ТЭК 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 техногенных 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 модернизации 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.

3. Модернизация норм и правил безопасности через обоснованное отступление от действующих требований промышленной безопасности допустима только после всестороннего анализа опасностей крупных аварий, при этом: необходимо компенсировать снижение противоаварийной защищенности из-за отказа от исполнения действующего требования с помощью других адекватных 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 в нестабильных состояниях перехода «опасность-угроза», с динамическим категорированием ОПО по степени риска крупных аварий и статической классификацией опасности ОПО.

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 безопасности ОПО.

Научная новизна диссертационной работы:

1. На основе ретроспективного исследования промышленных опасностей мировой и отечественной нефтегазовой и угольной промышленности впервые предложена риск-ориентированная модель структуры опасностей современных крупных аварий, включающая оценку значимости возможности социальных, хозяйственных и репутационных потерь.

2. Впервые получены научно обоснованные оценки разработанных риск-ориентированных индикаторов опасностей крупных аварий на объектах нефтегазовой и угольной промышленности, нефтегазопереработки и магистрального трубопроводного транспорта, показавшие возрастание угроз крупных аварий после 1990-х гг.

3. Разработано новое нормативное и методическое обеспечение риск-ориентированного обоснования безопасности, включающее: модель обеспечения условий безопасной эксплуатации при отступлении от действующих требований промышленной безопасности, методику установления допустимого риска аварии для оценки достаточности компенсирующих мер безопасности и процедуру категорирования ОПО по степени риска крупных аварий.

4. Предложена новая научно-техническая концепция информационно-аналитической системы риск-ориентированного предупреждения угроз крупных аварий

в отраслевой системе ОПО ТЭК, включающая динамическую карту опасностей крупных аварий с классификатором их степени риска, необходимая для обеспечения безопасной технологической модернизации ОПО нефтегазовой и угольной промышленности современной России.

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 современных крупных аварий, включающей оценку значимости возможности социальных, хозяйственных и репутационных аварийных потерь; формировании риск-ориентированной терминологии в сфере обоснования безопасности ОПО; создании концепции информационно-аналитической системы риск-ориентированного предупреждения угроз крупных аварий в отраслевой системе ОПО ТЭК; 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 (ФНП), руководств по безопасности (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 модернизируемых технологий промышленного производства и обеспечения безопасности ОПО ТЭК.

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, Новополюцк), «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 критических 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 управленческое 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, 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:

- Порядок оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечня включаемых в нее сведений (РД-03-14-2005, утв. приказом Ростехнадзора от 29.11.2005 N 893) – разд. IV, VI, прил.1;

- Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах (утв. ОАО «АК «Транснефть» от 17.10.2011, РД-13.020.00-КТН-148-11) – разд. 3, 5;
- Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта» (утв. приказом Ростехнадзора от 15.07.2013 № 306) – пп. 10, 11 разд. II;
- Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности (РБ утв. приказом 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 27.06.2014г., согласована Ростехнадзором 31.12.2014 г.) – все разд.;
- Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов (РБ утв. приказом Ростехнадзора от 7.11.2014 № 500, от 17.06.2016 № 228) – разд. II, III;
- Методические рекомендации по разработке обоснования безопасности опасных производственных объектов нефтегазового комплекса (РБ утв. приказом Ростехнадзора от 30.09.2015 № 387) – пп. 25, 26, 27 разд. IV, прил. 2;
- Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах (РБ утв. приказом Ростехнадзора от 13.05.2015 № 188, от 11.04.2016 № 144) – разд. II, III, IV, прил. 1, 2, 6, 7;
- Методика установления допустимого риска аварии при обосновании безопасности опасных производственных объектов нефтегазового комплекса (проект РБ одобрен к утверждению на заседании секции по безопасности объектов нефтегазового комплекса Научно-технического совета Ростехнадзора 17.11.2015).

Публикации. По теме диссертации опубликован 151 печатный труд, в том числе 9 монографий и 65 статей 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 310 страницах машинописного текста и содержащих 60 рисунков и 34 таблицы, списка сокращений, словаря терминов и списка использованной литературы из 289 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 *первой главе* проведен ретроспективный анализ возникновения и постановки проблемы возрастания угроз крупных промышленных аварий на типичных примерах угледобывающей промышленности и др. отраслей ТЭК в высокоразвитых, развитых и развивающихся индустриальных странах

Крупная авария – техногенное происшествие с последствиями или угрозой последствий катастрофического характера, непоправимых для самого объекта или/и его окружения и связанных с гибелью людей, причинением материального ущерба или/и 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 нач. XXI в. в промышленных авариях зарегистрировано до 80% пострадавших и более 95% оцененного материального ущерба (рис. 1).

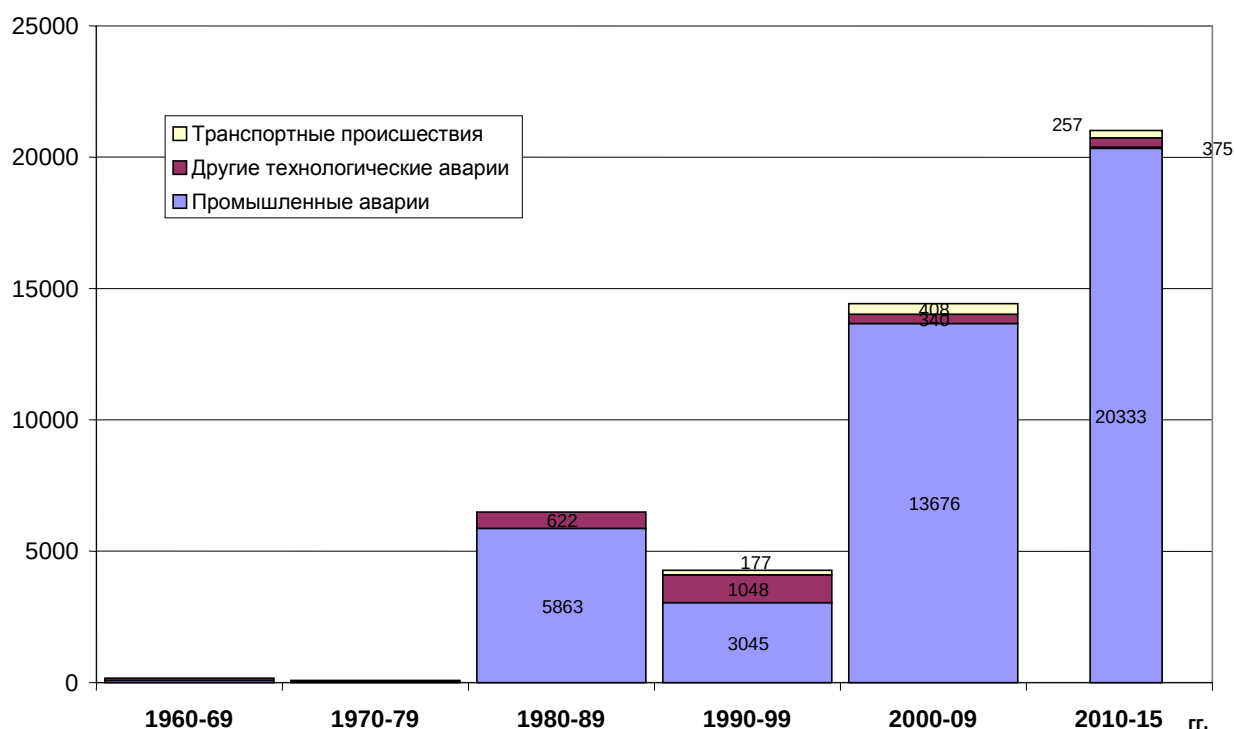


Рис. 1. Оцененный ущерб техногенных катастроф в мире в сер. XX–нач. XXI в., млн \$

На переломе XX-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%. Напротив, 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 энерговооруженных отраслях ТЭК, 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 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (1997).

Традиционный набор параметров, показывающих аварийные опасности, включает общее количество регистрируемых аварий (возможность события) и частные характеристики их последствий (тяжесть события). На уровне отдельного ОПО 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) может быть представлена как

$$R = \sum_i I_i \cdot P_i \cdot k_i = C \cdot P_C \cdot k_C + П \cdot P_П \cdot k_П + У \cdot P_У \cdot k_У + \dots, \quad (1)$$

где I_i – размер i -х потерь от крупных аварий;

P_i – возможность возникновения i -х потерь от крупных аварий;

k_i – соразмерный коэффициент значимости i -х потерь от крупных аварий, показывающий, какова значимость и как воспринимается в массовом сознании угроза их причинения;

C – смертельные потери от крупных аварий;

$П$ – потери пострадавших от крупных аварий;

$У$ – материальные потери от крупных аварий.

Крупные аварии с одинаковыми значениями P_i и I_i могут иметь разные показатели опасности в одной стране в разные периоды или в разных странах в одно время.

В высокоразвитых странах основным слагаемым в показателе опасности R все более становится материальный ущерб, а количество 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 СМИ-сообщений о крупных авариях (частота упоминаний, объем текста и рейтинг источника), находится в странах первого мира на

уровне групповой гибели в 20-25 чел. в одной крупной аварии (для России этот уровень выше: 80-85 чел.). Для запороговых потерь существенно возрастает значение k_C .

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

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. Типичными промышленными бедствиями стали аварии в шахтах и рудниках (mining disasters). Первые упоминания о групповой гибели шахтеров относятся уже к началу XVIII в. В первой половине XIX в. начат трагический отсчет крупных аварий с гибелью более 100 человек в угольных копях Великобритании, Германии, США, Чехии и Канады (рис. 2).

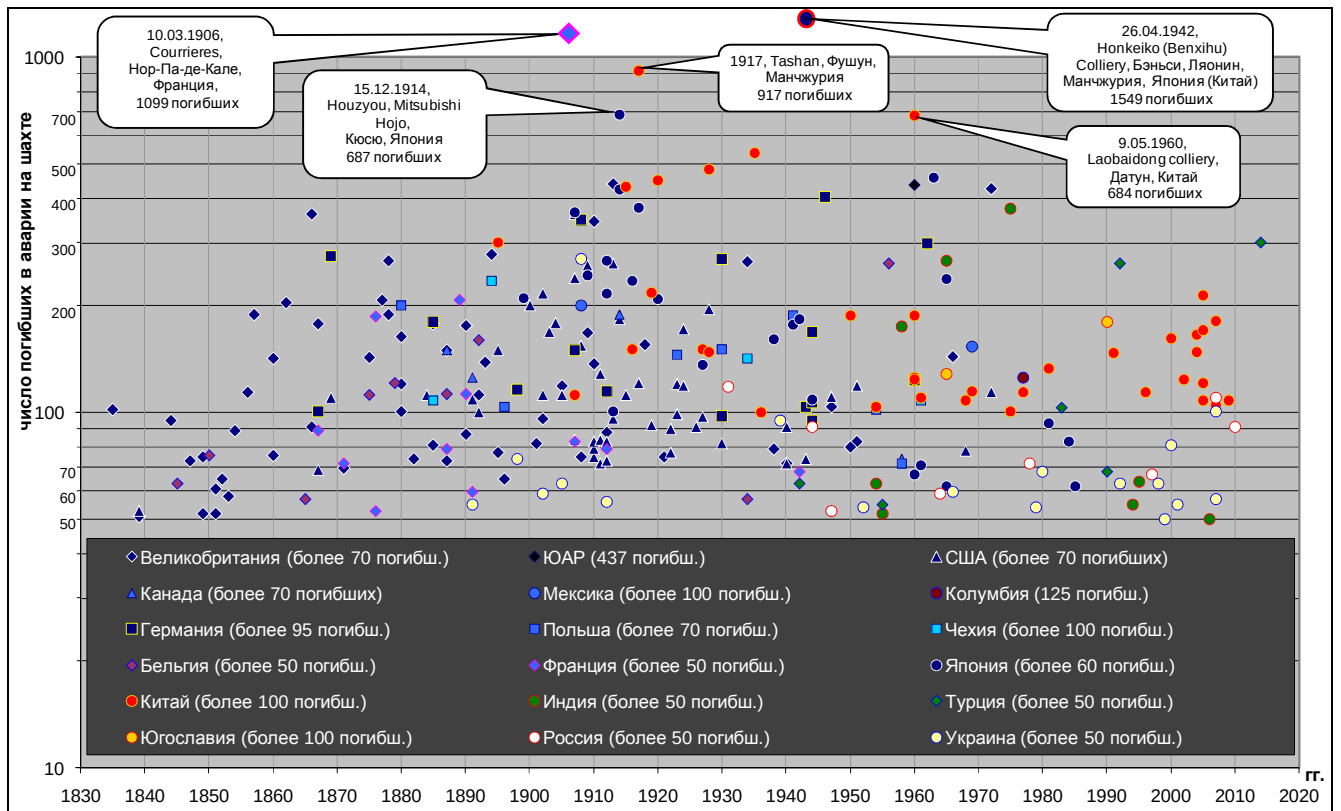


Рис. 2. Крупнейшие (до 100 погибших и более) смертельные катастрофы в шахтах угледобывающих стран в Новое и Новейшее индустриальное время (1835-1917 гг., 1918-2015 гг.)

/составлено автором по данным открытых официальных источников/

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 гибелью свыше 100 человек сопровождали индустриально развитые страны Западной Европы, Северной Америки и Японию (в 105 подземных катастрофах погибло более 22 тыс. человек). Общая картина крупнейших мировых угольных катастроф представлена на рис. 2.

В исторических координатах мировой промышленной добычи ископаемого угля отечественный углепром занимает относительно безопасные позиции. Наиболее трагическую смертельную историю подземной угледобычи имеют Япония, Турция и Великобритания, затем следуют Германия, США, Китай и Индия (см. табл. 1).

Таблица 1

Угледобывающие страны мира в XIX-XXI вв.: масштабы добычи, число смертельных катастроф в шахтах и количество погибших в них /составлено автором по данным открытых официальных источников/

Страна, территория стран (в порядке продолжительности промышленной угледобычи)	Период промугледобычи		Суммарная добыча, млрд т			Смертельная тяжесть аварии, количество погибших	Число известных смертель- ных аварий	Погибло в авариях, чел.
	Лет	Годы	Всего	в том числе способом:				
				подземным	открытым			
Великобритания	300	1700-2000	20,3	19,5	0,8	От 60 от 100 от 200 от 300 от 400	56 29 8 3 1	7487 5390 2366 1114 439
США	185	1830-2015	73,6	43,8	29,8	от 25 от 60 от 100 от 200 от 300	123 54 26 5 1	8968 6354 4159 1323 362
Германия	155	1860-2015	35	9	26	от 95 от 200 от 300 от 400	16 5 2 1	2597 1599 753 405
Польша	135	1880-2015	13,3	10,4	2,9	от 25 от 60 от 100 от 200	15 7 6 1	1222 961 889 200
Российская Империя, СССР, РФ, Украина, Казахстан	125	1890-2015	39,4	22,7	16,7	от 25 от 60 от 100 от 200	69 19 4 1	3600 1704 605 271
Япония	90	1900-1990	2,6	2,6	-	от 60 от 100 от 200 от 300 от 400 от 600	24 18 12 5 3 1	5231 4793 3926 2309 1568 687
Турецкая Республика	92	1923-2015	2,1	0,4	1,7	от 25 от 60 от 100 от 200	8 4 3 2	893 730 667 564
Республика Индия	68	1947-2015	13	-	-	от 25 от 60 от 100 от 200 от 300	11 5 3 2 1	1200 945 818 643 375
Китайская Народная Республика	66	1949-2015	69	66	3	от 100 от 200 от 600	25 2 1	3957 898 684

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 добычи нефти и газа (табл. 2).

Таблица 2

Основные периоды индустриализма и характерные примеры крупных промышленных аварий

<i>Периоды промышленного развития</i> «энергия и материал»	<i>Поздний Прениндустрализм</i> «вода, дерево, камень, металл» (до ~XVI в.)	<i>Классический Индустрализм</i> «уголь и сталь» (~XVI-XX вв.)	<i>Позднеклассический Индустрализм</i> «нефть и пластик» (кон. XX - нач.XXI вв.)	<i>Ранний Постиндустриализм</i> «углеводороды и композит» (XXI в. - ...)
<i>Господствующий отраслевой уклад для крупных аварий</i>	Горнорудная добыча	Каменноугольная промышленность	Нефтегазовая, химическая промышленность, энергетика	
<i>Характерные примеры известных крупных аварий</i>	1376 г. обвал в руднике « Rammelsberg » г. Гослар, Германия (> 100 погибш.); 1448 г. затопление рудника « Heilig-Kreuz- Stollen » г. Швац, Австрия (> 260 погибш.); 1565 г. обвал в руднике « Der Goldene Esel », г. Злоты-Сток, Силезия (> 95 погибш.)	1866 г. ш. Oaks , Барнсли, Англия (361 погибш.); 1906 г. ш. Courrières , Нор- Па-де-Кале, Франция (1099 погибш.); 1907 г. Monongah ш. No. 6 & 8, Зап. Виргиния, США (362 погибш.); 1942 г. ш. Honkeiko , Манчжурия Япония (Китай) (1549 погибш.); 1963 г. ш. Mitsui Miike , Омута, Кюсю, Япония (458 погибш.)	1978 г. Сан-Карлос , Испания, взр. пропилена (215 погибш.); 1988 г. взрыв на Piper Alpha , Северное море (167 погибш.); 1984 г. Бхопал , Индия, выбр. метилизоцианата, (>2тыс. погибш.); 1989 г. Уфа СССР , взрыв ШФЛУ (575 погибш.)	18.11.2007 ш. им. А.Ф. Засядько, Донецк, Украина (101 погибш.); 17.08.2009, СШ ГЭС , Хакассия, РФ (75 погибш.); 20.04.2010 нефт. платф. Deepwater Horizon , Луизиана США (11 погибш.); 8-9.05.2010 ш. « Распадская », Кузбасс, РФ (91 погибш.) 13.05.2014 ш. « Soma », Маниса, Турция (301 погибш.)

Крупные аварии 1960-1980-х 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. 2). Крупные аварии стали предвестниками постиндустриального перехода.

Современное состояние опасностей крупных аварий определяется особенностями индустриального развития страны и степенью ее адаптации к кризисным условиям. В пределе крупные аварии замедляют и пресекают промышленную деятельность, ведут к угасанию сначала 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 социо-техническом 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 *второй главе* представлен аналитический обзор опасностей и угроз крупных аварий на объектах отечественной нефтегазовой и угольной 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 неоправданных новшеств.

Специфические опасности крупных аварий угрожающе 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 опасностях при выборе того или иного вектора модернизации страны в целом, а не только ее промышленного базиса.

С 1990-х гг. Россия существенно 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 и промышленных аварий должно было быть меньше, что в среднем и наблюдалось. Но перераспределение информационных и энергетических потоков 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.

В работе проанализирована динамика изменений объемов производства и аварийности на примере отечественной добычи угля. В начале XXI в. треть первичной энергии и до 40% электроэнергии в мире вырабатывается из ископаемого угля. Угольная промышленность России стала энергетической базой индустриализации 1930-х гг., а с начала 1960-х гг. выросла в современный энергообеспечивающий комплекс с приоритетом развития более безопасной открытой добычи. С конца XX в. в угледобыче России особенно выделяется период подготовки и старта радикальных реформ (1985-1993 гг.), активной фазы реструктуризации (1994-2000 гг.) и ее

последствий (2001-2015 гг.). Наиболее тяжелые крупные аварии происходили в России на переходных этапах индустриализации и реструктуризации.

Добыча угля снизилась за годы реформы примерно в 2 раза к 1998 г. К середине 2010-х гг. более безопасная открытая добыча была восстановлена, а опасная подземная добыча стабилизирована на половинном уровне в 100 млн тонн/год. С повышением производственной эффективности снижен основной эффект добычи и получен непредусмотренный негативный эффект от новых крупных аварий (рис. 3).

Реструктуризация начиналась и оканчивалась символически: в 1994-1995 гг. впервые крупнейшая госшахта «Распадская» стала частной, а 8-9 мая 2010 г. на ней произошла одна из крупнейших российских аварий. В ходе следования новым макроэкономическим показателям были повреждены более фундаментальные достижения обеспечения безопасности в отечественной угольной промышленности.

Существенно изменилась доля крупных аварий: в РСФСР в 1980-е гг. одна крупная авария (> 10 погибш.) приходилась в среднем на 313 регистрировавшихся аварий, в РФ в 1990-е гг. – одна на 86, а в 2000-е гг. – уже одна на 33. Средняя доля наиболее опасных аварий со взрывами (горением, вспышками) газа и угольной пыли в общем количестве регистрируемых аварий выросла за 1990-2000-е гг. более чем в 7 раз - с 3,5 до 25% (в начале 2010-х гг. – до 22%).

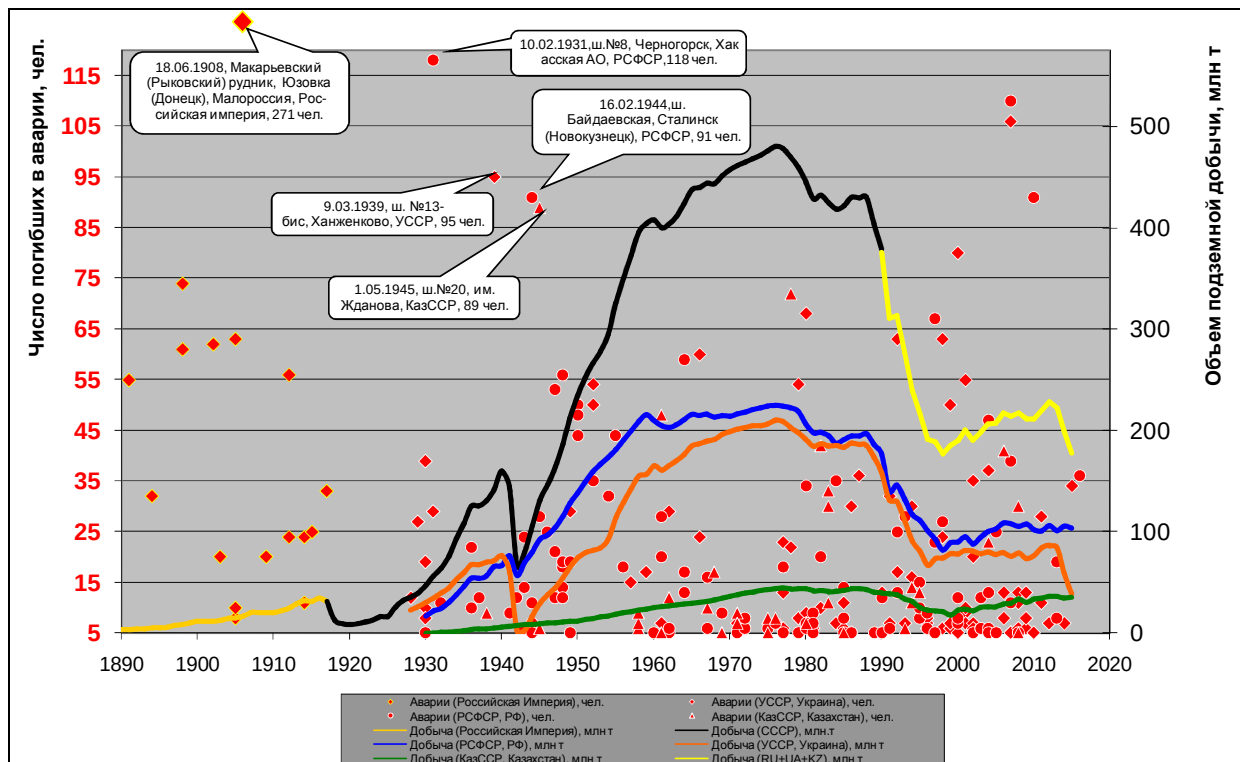


Рис. 3. Объемы подземной добычи угля и крупные аварии (более 5 погибших) на шахтах Российской империи, СССР, Российской Федерации, Украины и Республики Казахстан /по данным открытых источников/

В 1990-х гг. удельная смертность шахтеров в среднем поднялась на 2/3, локально достигнув в 1997 г. 2,6 чел./млн т. Только к концу 2000-х гг. ее удалось снизить до

уровня 1991 г., вместе с тем значительно вырос разброс значений этого показателя: с $\pm 6\%$ в 1990 г. до $\pm 65\%$ в относительно благополучном 2009 г.

Несмотря на новые технологии добычи угля, в период реструктуризации произошли тяжелые крупные аварии с групповой гибелью, как в 1930-1940-х гг. (рис. 3). По количеству и распределению тяжести крупных аварий с количеством погибших более 50 чел. РФ за 25 лет реформ опередила послевоенную РСФСР (рис. 4), добыв в шахтах втрое меньше угля (см. рис. 3).

Стандартные показатели смертельной опасности (количество погибших на миллион тонн добычи, погибших на количество рискующих и т.п.), применимые для относительно стабильных периодов, в переходные периоды стали малопоказательными. По ним в среднем аварийность и травматизм падали, при этом отрасль сотрясали тяжелые аварии (см. рис. 3, 4). Для оценки опасностей крупных аварий разработаны риск-ориентированные индикаторы частоты возникновения и крупности их угроз: среднее количество погибших в крупных авариях и число условных крупных аварий, N_z :

$$N_z = \frac{C_\Sigma}{Z \cdot M}, \quad (2)$$

где C_Σ – общее количество погибших во всех крупных авариях за рассматриваемый период, чел.;

Z – условная крупность крупных аварий по единовременному количеству погибших, чел.;

M – масштабность производственной деятельности (объем добычи, т; для квазистабильных условий: период добычи, лет).

Предложенные риск-ориентированные индикаторы были проанализированы при нижеследующих условиях и допущениях:

- из рассмотрения в качестве крупных исключаются наиболее многочисленные групповые несчастные случаи (крупные не могут быть привычными, - например, на рис. 3 хорошо видно, что аварии с гибелью 5-8 чел. для угледобывающих стран бывшего СССР перестали быть уникальными в 2000-х гг.). При риск-ориентированных сравнениях групповых смертельных опасностей весь разнородный массив происшедших крупных аварий оценивается числом условных аварий, - например, «минимальных» крупных аварий с гибелью 10 чел. В исследовании сделано допущение о линейном характере восприятия нарастания числа и тяжести крупных аварий: одна авария с гибелью X чел. по тяжести эквивалентна $X/10$ условным авариям с гибелью 10 чел.;
- энергетические предпосылки аварий оцениваются только объемом подземной добычи угля, косвенно отражающим опасности, связанные с глубиной добычи и метаноопасностью разрабатываемых пластов. Сделано консервативное предположение о линейном росте опасностей аварий с увеличением добычи – при прочих равных по удельным параметрам большие системы обеспечения безопасности более эффективны (сказывается эффект масштаба).

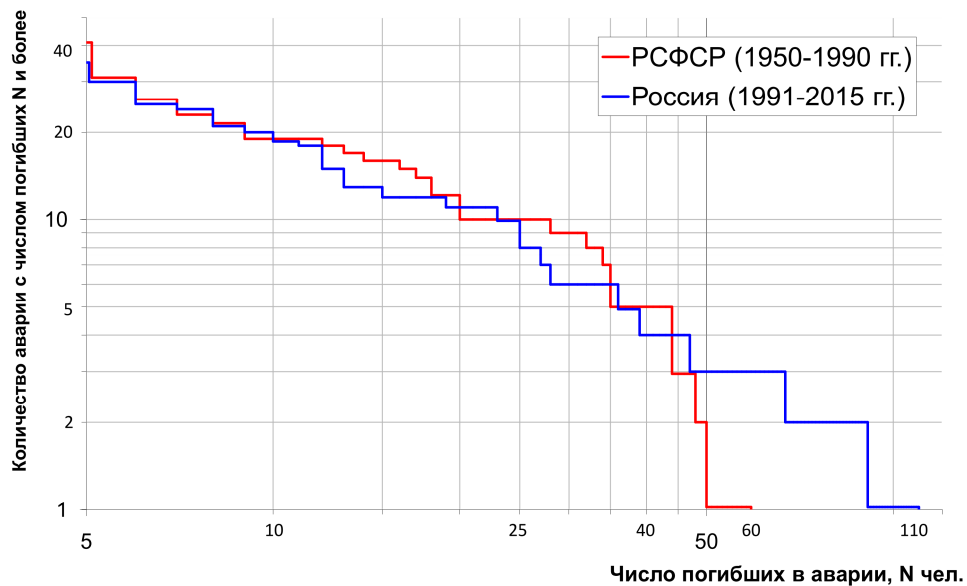


Рис. 4. Функция распределения количества погибших в подземных угольных авариях с гибелью 5 чел. и более

Основные результаты анализа и оценки значений разработанных индикаторов опасностей крупных аварий представлены в табл. 3. Сравнение различных 25-летних периодов добычи показывает, что опасности крупных аварий резко выросли и существенно не снижаются. Если в РСФСР ежегодно происходила одна условная авария с гибелью 10 чел., то в РФ – почти три. Более чем вдвое выросло и среднее количество погибших в одной крупной аварии - с 10 до 21 чел/ав.

Таблица 3

Объемы подземной угледобычи и опасности крупных шахтных аварий в исторической России и США

Страна (период наблюдения)	Объем подземной добычи угля		Аварии с гибелью более пяти шахтеров			Условные крупные аварии с гибелью шахтеров	
	Всего, трлн т	Среднегодовой, млн т	Число аварий	Коли- чество погибших	Среднее количество погибших в одной аварии, чел/ав.	Среднегодовое число условных аварий с гибелью 10 чел.	Число условных аварий с гибелью 36 чел. на 1 трлн т добычи
РСФСР (1966–1990)	5,2	207	26	268	10	1,1	1,4
Россия (1991–2015)	2,6	105	33	682	21	2,7	7,2
Россия (2001–2015)	1,5	102	17	413	24	2,8	7,5
США (1966–1990)	7,5	299	24	423	18	1,7	1,6
США (1991–2015)	8,4	335	6	73	12	0,3	0,2
СССР (1966–1990)	11,1	444	59	940	16	3,8	2,3
Угледобываю- щие страны бывш. СССР (1991–2015)	5,8	231	86	1709	20	6,8	8,2

Заметна тенденция отставания России от США (см. табл. 3), которая частично определяется несопоставимыми горно-геологическими условиями добычи, но в основном свидетельствует о внутреннем кризисе культуры безопасности, порожденном реструктуризацией.

В исследовании проанализированы изменения производства и промышленных опасностей в других базовых отраслях ТЭК: в нефтегазодобывающем комплексе, на магистральных трубопроводах и в нефтегазопереработке.

Основные результаты исследованных тенденций промышленных опасностей на ОПО нефтедобычи представлены на рис. 5. В 1990-1999 гг. наблюдался резкий спад добычи нефти с 516 до 305 млн т, однако 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).

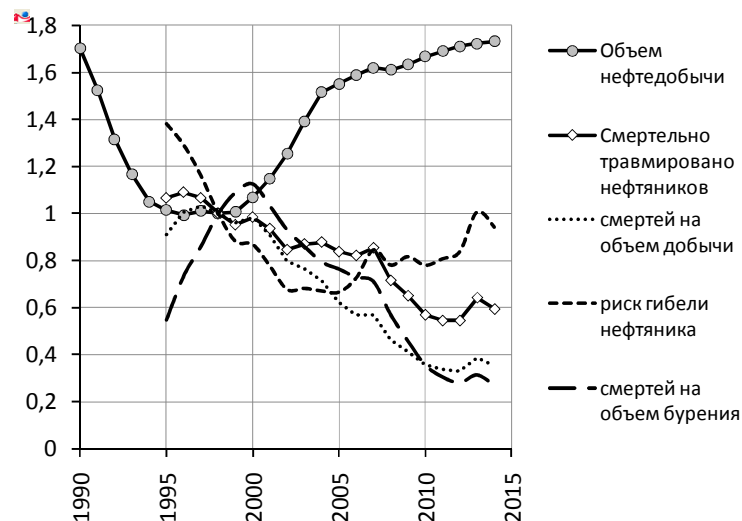


Рис. 5. Объемы добычи и показатели смертельного травматизма на опасных производствах нефтедобывающей промышленности России, условные индексы (1998 г.=1)

С 1990 г. резко падали объемы наиболее аварийноопасных операций бурения на нефть: эксплуатационного – более чем в три раза (вплоть до 2002 г.) и разведочного – более чем в 5 раз. Число аварий в отрасли снизилось к 2002 г. примерно в два раза. С возобновлением эксплуатационного бурения (увеличение в ~2 раза от минимума 1996 г.) и при стагнации разведочного бурения в 1998-2014 гг. наблюдался рост (~1,5 раза), а затем стабилизация ежегодного числа 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-х кратное) удельного смертельного травматизма в 1991-

2002 гг. Последующее восстановление роста производительности труда в 2000-2013 гг. (~3 раза) сопровождалось почти 2-х кратным ростом риска гибели нефтяника (рис. 5).

Для ОПО в относительно стабильном состоянии 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 магистрального трубопроводного транспорта (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.

После более чем семикратного 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.

В работе предложены и оценены характерные фоновые показатели опасности аварий МТТ с соответствующими риск-ориентированными критериями ранжирования участков МТТ по степени опасности (табл. 4).

Таблица 4

Показатели и критерии для ранжирования участков линейной части МТТ по степени опасности аварий по сравнению со среднеотраслевым фоновым риском аварии за последние 5 лет

Сравнительная степень опасности аварии на линейной части магистрального трубопровода	Показатель опасности аварий магистрального трубопровода				
	Удельная интенсивность аварий, 1/(1000 км · год)	Удельная частота аварий за год, 1/(трлн тонно-км)	Средний ущерб на 1 аварию, млн руб.	Удельный ожидаемый ущерб от аварии млн руб./(1000 км × год)	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. 6) за последнее десятилетие фоновая удельная частота аварий достигала 8,3 аварии на 1 трлн т-км грузооборота на падающем тренде (для магистральных газопроводов (МГ) – 13).

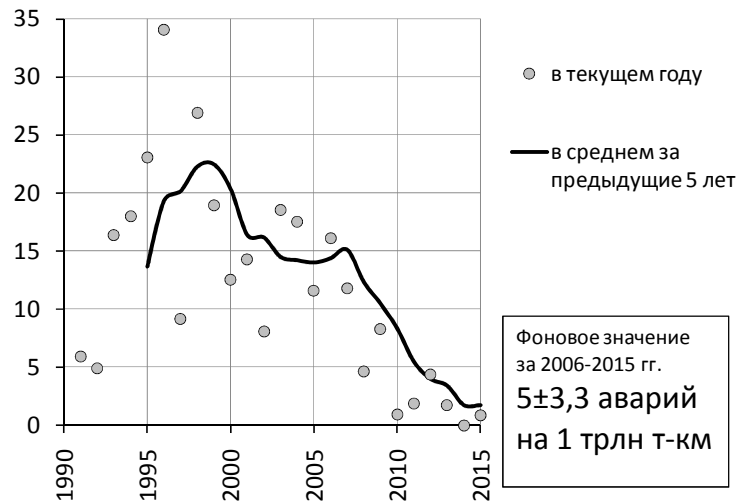


Рис. 6. Удельная частота аварий на магистральных нефтепроводах в России, аварий на 1 трлн т-км грузооборота

На фоне общемировой тенденции снижения аварийности на МТТ, на высокоизношенных российских МГ наблюдается возрастание «средней цены одной аварии» при сохранении «среднего выброса при аварии». За 2009-2014 гг. фоновый ожидаемый ущерб на одну аварию достигал 10,6 млн руб., а объем аварийного выброса – 3,3 млн куб. м. Более чем треть аварий за 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%.

В последнее время анализ опасностей крупных аварий проводился как на основе отечественного опыта происшедших аварий (в оперативном реагировании), так и с освоением и внедрением западных подходов (в долгосрочном регулировании). При этом отечественные правила безопасности продолжали выполнять функцию пассивных заслонов - фундаментальных ограничений для опасной производственной деятельности. В работе исследована и показана недопустимость конструирования альтернативы обслуживания опасной производственной деятельности вообще без традиционных правил безопасности, когда совокупность требований действующих правил в нефтегазопереработке предполагалось заместить абсолютизируемыми параметрами «*process safety indices*» – индивидуальным риском гибели для персонала (1) и для населения (2).

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.). Абсолютизируемый параметр (1) демонстрирует лидерство российской безопасности по сравнению с США, что не соответствует многим другим эмпирическим данным и указывает на неверный выбор параметра 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 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 разрушается сама управляемая система и предметная область культуры 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 культуре.

Проблема «смены норм» 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 техногенных аварий и анализа предложений профессиональных сообществ устанавливал «субъективный» порядок обязательного исполнения «объективных» требований безопасности.

Фонд знаний, содержащихся в отечественных правилах промышленной безопасности (включая качественные признаки и количественные индикаторы), невозможно полностью заменить результатами анализа опасностей и количественной оценки риска аварии. Первые упорядочивают прошлое и предупреждают известные неудачи в настоящем, а вторые ищут угрозы в будущем. Приемлемый и допустимый риски аварии не могут служить единственными критериями безопасности объекта. Помимо методических трудностей применения существует сложнейшая 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 строгого 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 ОПО.

В *третьей главе* 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 системе ОПО.

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).

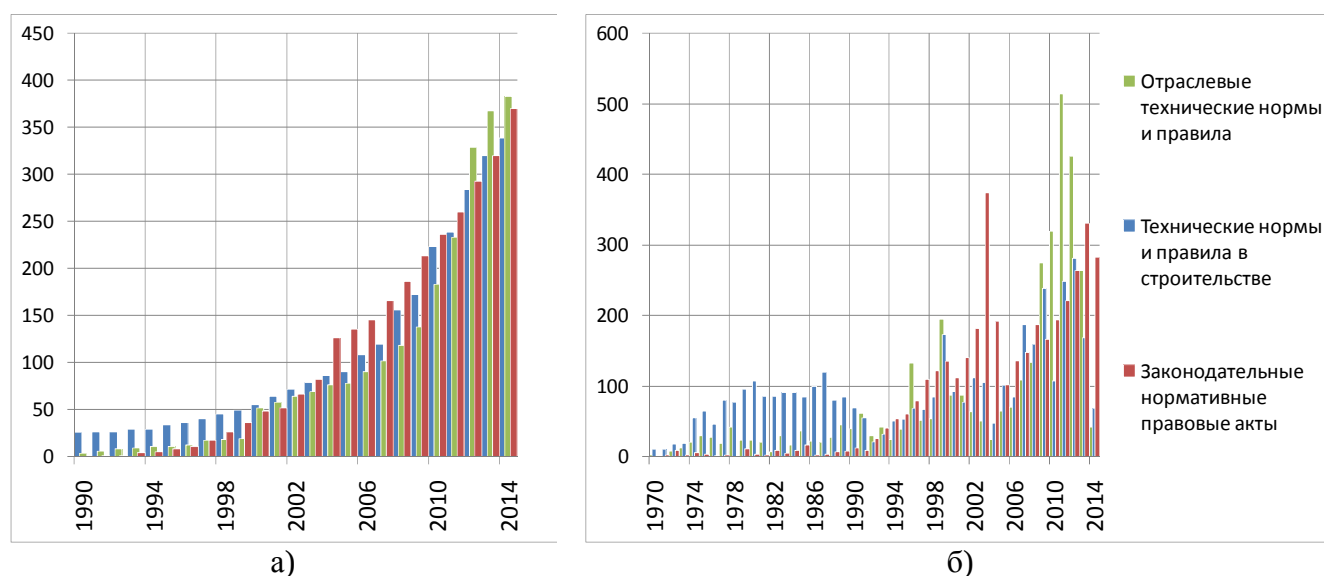


Рис. 8. Количество (с накоплением) российских нормативов в промышленной сфере: а) в которых употребляется слово «риск»; б) вновь принятых со словами «безопасность», «опасность», «риск»

В исследовании был проведен краткий контент-анализ российских нормативных и технических документов, показавший, что достаточно часто «риск» используют как синоним понятия, обозначаемого словом «опасность» для усиления эмоциональной окраски восприятия опасных явлений. 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 терминологии 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 обоснование безопасности (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 «отстающее требование», а главное – оставленные без него другие «рядом стоящие» нормы на предмет возможности долгосрочного сохранения безопасной эксплуатации ОПО.

Неисполнение норм – это субъективная случайность, а возникающая с преступлением (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.

Как резюмировано в п.3 научных положений исследования, обоснованное отступление от действующих требований безопасности 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 и социокультурной проблемы «смены 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 требований эти процедуры должны быть исполнены в обосновании безопасности ОПО.

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 никаким *показателем* безопасности ОПО служить не может. В исследовании приведены методические задачи выбора риск-ориентированных критериев безопасной эксплуатации ОПО на примерах реформирования понятия энергетического потенциала взрывоопасности блоков ОПО ТЭК и измерения аварийной опасности при отступлении от требований безопасности, запрещающих прокладку 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 (в т.ч. ФНП); (2) соответствие значений показателей безопасной эксплуатации опасного производственного объекта критериям обеспечения безопасной эксплуатации.

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

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

1) в предположении, что на ОПО выполнены все действующие правила безопасности, определяется «уровень правил» по выбранным основным показателям безопасной эксплуатации: $УБ=R_0$;

2) при отступлении от норм без компенсирующих мер определяется пониженный уровень безопасности: $УБ_1=R_1$;

3) если $R_1 \leq R_0$, то это явный признак непригодной методики оценки R (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:

$$R_{\text{доп}} = R_0 \cdot k_R, \quad (3)$$

где k_R – коэффициент, учитывающий состояние техники и кадров, значимость норм, неопределенность методик и исходных данных для расчета, чувствительность методики расчета к учету компенсирующих мероприятий, значимость модернизации и проч. (при отсутствии или недостаточности обоснования $k_R \leq 1$).

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

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 (техногенных, антропогенных, природных) к предельным проектным значениям. Только если отступления компенсированы дополнительными мероприятиями обеспечения безопасности, то опасность не сможет перерасти в угрозу.

Для различения 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. «Допустимость» определяется в основном легальностью (т.е. законностью), а «приемлемость» – легитимностью (т.е. деятельным согласием рискующих).

Допустимый уровень риска аварии должен определяться с учетом значений *приемлемого* и *фонов*ого риска. Приемлемый риск аварии (приемлемая опасность) – совокупность значений показателей и признаков опасности аварии, воспринимаемых рискующими в качестве их допустимой нормы по защищенности от аварий.

При решении проблемы установления допустимого риска аварии на ОПО 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. 5), в техносфере.

Таблица 5

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

Отрасль нефтегазового комплекса	Величина фонового риска гибели за период 2011-2015 гг.		Величина фонового значения за период 2013-2015 гг. риска	
	Уровень риска $R_{ав}$, дБР	среднегодовое число погибших от аварий на миллион рискующих $R_{нг}$, ppm	возникновения аварии на ОПО, ав/год	материального ущерба от аварии на ОПО, млн руб/ав.
Нефтедобывающая промышленность нефтегазодобыча	-2,9	134	$2,4 \cdot 10^{-3}$	86
Нефтеперерабатывающая промышленность вкл. нефтепродуктообеспечение	-4,5	92	$3,4 \cdot 10^{-3}$	51
Газодобывающая промышленность газораспределение и газопотребление	-11,9	17	$0,5 \cdot 10^{-3}$	6
Магистральный трубопроводный транспорт	-	-	$2,5 \cdot 10^{-3}$ ($8 \cdot 10^{-5}$ на км)	25

Существенное 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 арифметических порядков. Поэтому в разработанном подходе при установлении допустимого риска гибели человека через сопоставление с уровнями фоновых опасностей выбран соответствующий диапазон для коэффициентов запаса (табл. 6).

Приемлемым считается то, с чем люди живут и сталкиваются достаточно часто, к чему привыкли, что узнаваемо. 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, 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 ($R_{ГЛ}$) гибели людей в техногенных происшествиях:

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

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, т.к. она интуитивно понятна, по ней проще ориентироваться в уровне техногенных опасностей (использованы целые числа, и знак минус 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;
- (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 I и II классов опасности, иных аварий на других ОПО или возникновению зон смертельного поражения.

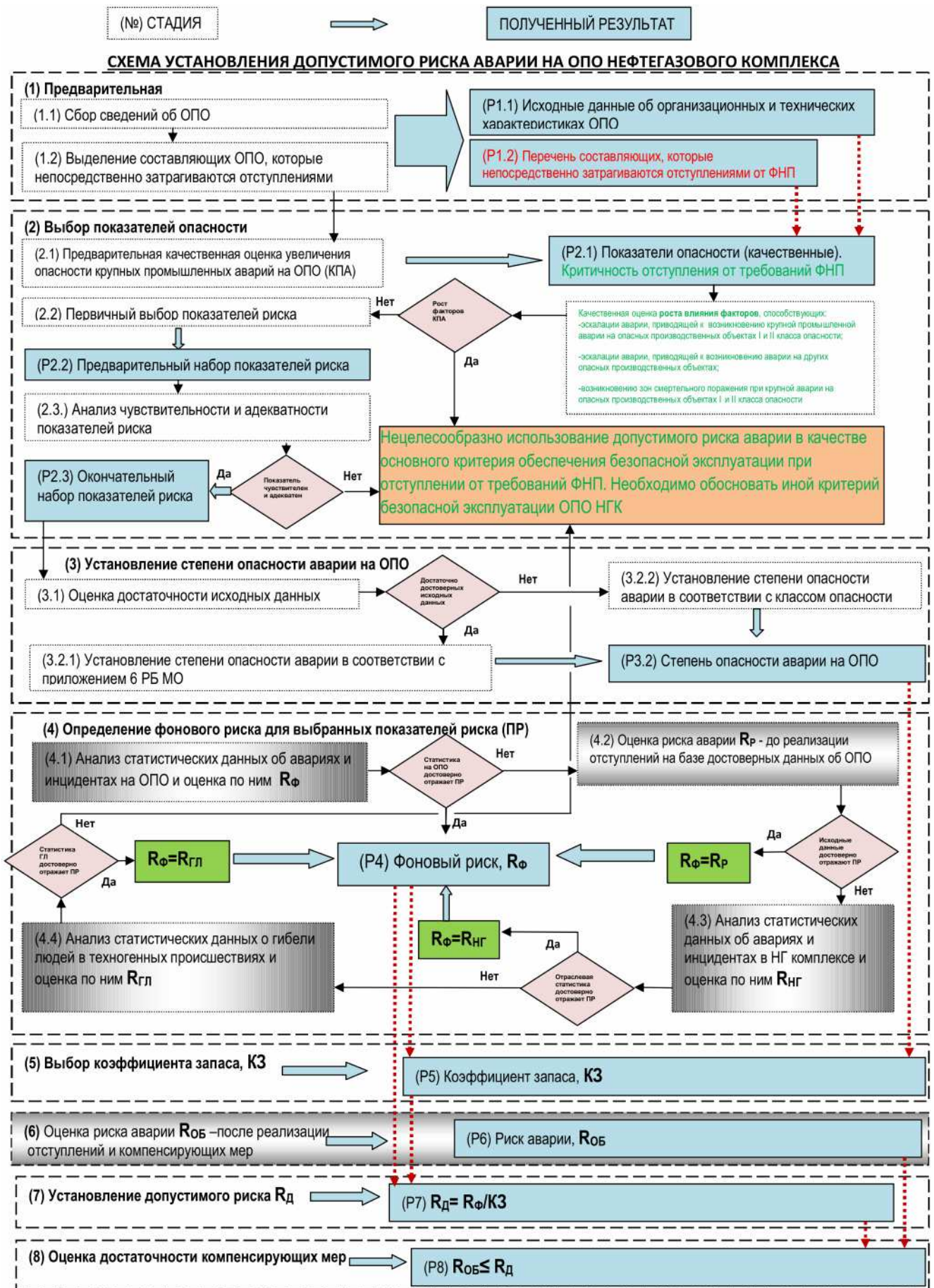


Рис. 9. Схема алгоритма установления допустимого риска аварии для обоснования безопасности

(2.2) Первичный выбор риск-ориентированных показателей опасности проводится 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, связанных с отступлениями, а также с внедрением компенсирующих мер;

в) для выбранного показателя должны иметься или определяться достоверные оценки значений риска аварий и (или) инцидентов на рассматриваемом ОПО без отступлений от требований безопасности или оценки любых из следующих значений фоновых опасностей (фоновый риск): аварий и (или) инцидентов на ОПО, для которого разрабатывают ОБ; аварий на ОПО ТЭК (например, согласно табл. 5); гибели людей в техногенных происшествиях (например, в 2011-2015 гг. среднегодовое число погибших в ДТП и пожарах на миллион рискующих составляло 261).

Степень опасности аварии (составляющих) ОПО на стадии (3) устанавливают по разработанному алгоритму категорирования (табл. 8, 9).

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

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

(4.2) оценку риска аварии на ОПО 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 отрасли $R_{НГ}$ по данным об авариях и инцидентах на ОПО ТЭК ($R_\Phi = R_{НГ}$). Для показателей риска гибели может использоваться фоновый риск гибели людей $R_{ГЛ}$ в техногенных ЧС ($R_\Phi = R_{ГЛ}$).

На стадии (5) выбирается коэффициент запаса $KЗ$, 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. 6, при этом если $R_P > R_{НГ}$, то принимается $R_P = 0,2 \cdot R_{НГ}$;

(5.2) для показателей риска материального ущерба от аварии – с использованием Табл. 7, при этом если $R_P > R_{НГ}$, то принимается $R_P = 0,8 \cdot R_{НГ}$;

(5.3) для показателей риска факта возникновения аварии на ОПО – с использованием табл. 7, при этом если $R_P > R_{НГ}$, то принимается $R_P = 0,5 \cdot R_{НГ}$;

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

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

Таблица 6

Коэффициенты запаса для установления допустимого риска гибели людей при аварии

Степень опасности аварии	Значение коэффициента запаса $KЗ$ для трех вариантов определения фонового риска R_{Φ} :		
	аварии на ОПО, для которого разрабатывается обоснование безопасности	аварии на объектах нефтегазового комплекса	гибели людей в техногенных происшествиях
	$R_{\Phi} = R_P$	$R_{\Phi} = R_{НГ}$	$R_{\Phi} = R_{ГЛ}$
Малая	1	10	100
Средняя	2	20	200
Высокая	5	50	500
Чрезвычайно высокая	10	100	1000

Таблица 7

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

Степень опасности аварии	Значение коэффициента запаса $KЗ$ 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 нефтегазового комплекса		
	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 (7) при установлении допустимого риска аварии R_d используют значения фонового риска аварии, определенного на стадии (4), и коэффициента запаса, выбранного на стадии (5): $R_d = R_{\Phi} / KЗ$. Для проектируемого ОПО целесообразно применять дополнительный понижающий коэффициент, равный 3, а для ОПО с новыми требованиями промышленной безопасности – 5. Допустимый риск гибели для населения д.б. в 100 раз меньше, чем для персонала.

На стадии (8) для обоснования достаточности компенсирующих мер проверяют выполнения условия: $R_{об} \leq R_d$. 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.

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-144-2016.

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 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. 4). Преимущественно для площадочных ОПО степень опасности аварий определяется приоритетным показателем максимально возможного количества потерпевших и погибших по сопоставительным критериям из табл. 8.

Таблица 8

Критерии степени опасности аварий на площадочных (составляющих площадочных) ОПО

Сравнительная степень опасности аварии на площадочном (составляющей) ОПО	Максимально возможное количество потерпевших, жизни или здоровью которых может быть причинен вред в результате аварии на площадочном объекте или составляющей ОПО	
	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 (вкл. 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 коэффициентом запаса).

Разработанное методическое обеспечение анализа опасностей аварий и риск-ориентированного обоснования безопасности включено в нормативы Ростехнадзора (РД 03-418-01, РБ-646-2013, РБ-500-2013, РБ-387-2015 и РБ-144-2016) 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 угрозы новых крупных аварий.

В *четвертой главе* представлены методические принципы и концептуальные основы разработки информационно-аналитической системы риск-ориентированного предупреждения угроз крупных аварий.

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 перерасти 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.

Накопление знаний и представлений об угрозах («карты опасностей») позволяют создавать и обслуживать системы безопасности. В методическом плане опасностей всегда много, а безопасность – одна (в индустриализме – национальная безопасность). В законодательной практике исторически сложились многочисленные названия различных «видов безопасности». Отдельные подсистемы обеспечения национальной безопасности принято называть или «симметрично» по виду упреждаемой ими опасности (например, радиационная безопасность, пожарная безопасность, продовольственная безопасность), или по наименованию объекта защиты (например, экологическая безопасность, экономическая безопасность, информационная безопасность), или по определению рассматриваемой системы «источник опасности – рискующие» (общественная безопасность, промышленная безопасность).

Сфера промышленной безопасности непосредственно затрагивает большие технико-социальные системы индустриального общества (промышленность, транспорт, строительство, энергетика), 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. Состояние безопасности остается

проверенным показателем жизнестойкости больших и долгосрочных социотехнических систем и институтов в индустриальных обществах.

В современных 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 ТЭК, с первоначальным риск-ориентированным анализом изменений опасностей и угроз крупных аварий в системе поднадзорных ОПО ТЭК. Схематично сфера обеспечения промышленной безопасности в системе национальной безопасности России представлена на рис. 10.

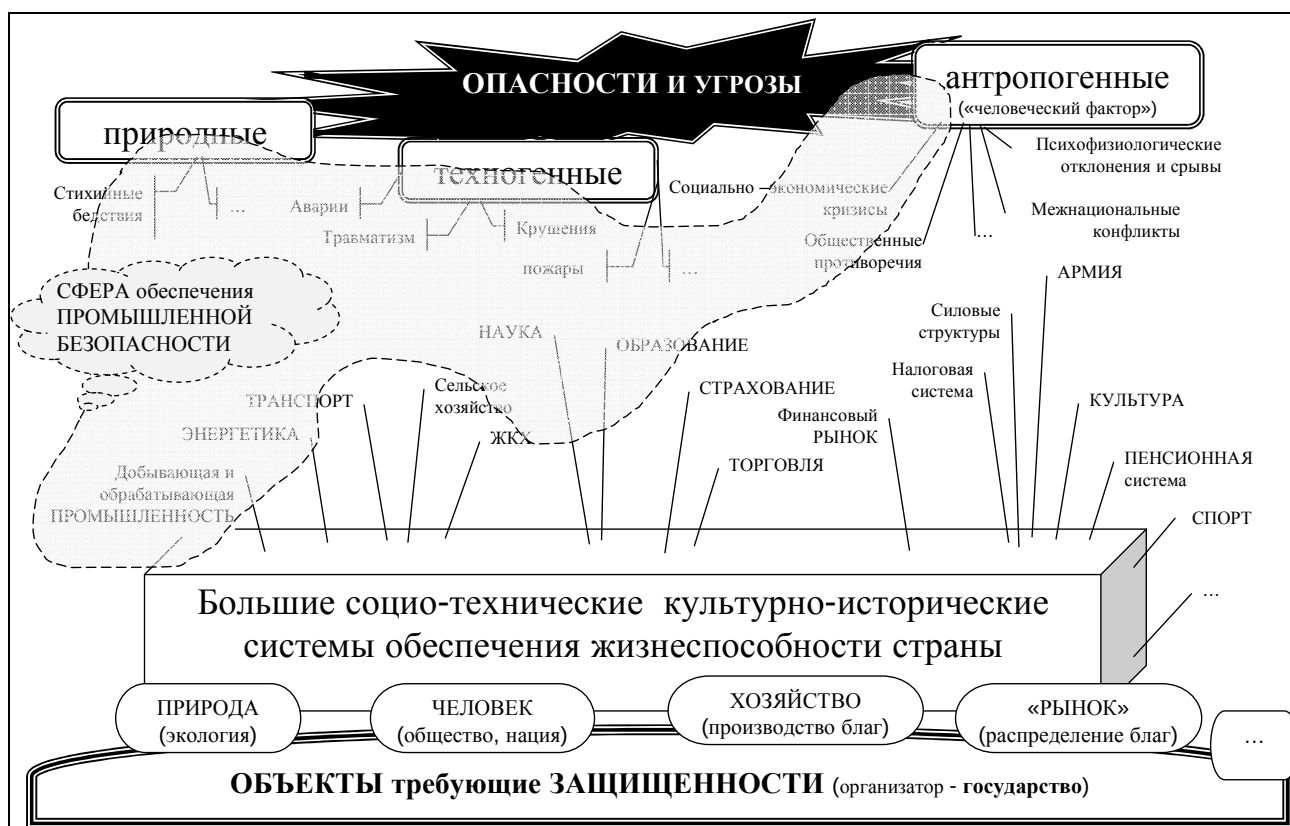


Рис. 10. Сфера обеспечения промышленной безопасности в системе национальной безопасности

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 ТЭК 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 ТЭК в современных условиях роста угроз крупных аварий.

В разработанной концепции отражены целесообразность, возможность и принципы создания КСР-О, её 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 ТЭК;

сосредоточить усилия надзорных органов и эксплуатирующих ОПО организаций на совместном решении неотложных задач по снижению возможности возникновения и масштаба последствий крупных аварий, сформировать современные нормативные требования по созданию (модернизации) различных организационных и технических (в т.ч. автоматизированных) систем и средств для решения традиционных и новых задач индустриального и риск-ориентированного контроля и надзора на ОПО;

разработать и внедрить современные информационно-аналитические системы контроля реальной и прогнозируемой ситуации с обеспечением промышленной безопасности на ОПО, 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 опасными объектами угледобывающей промышленности и нефтегазового комплекса с применением современных средств информационно-коммуникационных технологий;

организовать проведение работ по созданию методической и инструментальной основы анализа и оценки состояния противоаварийной защищенности на ОПО;

провести сбор, анализ и систематизацию сведений об аварийной опасности действующих производств ТЭК, а также оценку возможностей снижения риска аварий на них с учетом технологических и социально-экономических факторов;

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

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

неустрашимость энергетической составляющей потенциала опасности крупных аварий на высокорисковых ОПО ТЭК;

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

неотложность разработки и проведения безопасной технологической модернизации ОПО ТЭК;

планирование и осуществление мероприятий по предупреждению промышленных аварий проводят с учётом реалий и оценкой перспектив культурно-исторических, социально-экономических, организационно-технических особенностей отраслей отечественной промышленности для недопущения безнадзорного или латентного вызревания угроз возникновения масштабных последствий крупных аварий;

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 и классам опасности;

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

структурно-функциональная подготовка ОПО ТЭК к осуществлению средне- и долгосрочных организационно-технических мероприятий по предупреждению возникновения угроз крупных аварий;

приоритет повышения эффекта противоаварийной защищенности от крупных аварий и эффективности обеспечения промышленной безопасности в подсистеме поднадзорных ОПО 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 и иным рискующим:

объективных риск-информативных сведений об актуальных опасностях (в том числе 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 в целом,

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

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

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

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

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

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;

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

Основу структуры КСР-О составляют следующие ключевые взаимосвязанные функциональные элементы и подсистемы (рис. 11):

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

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 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, 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 чрезвычайно высокой и высокой аварийной опасности.



Рис. 11. 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

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 ОПО ТЭК.

В целях выявления наиболее высокорисковых ОПО, территорий и отраслей разработан классификатор (чрезвычайно высокой, высокой, средней и низкой) степени риска аварии на ОПО с использованием разработанных риск-ориентированных показателей и критериев категорирования ОПО, приведенных в табл. 8, 9.

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. 9). Верхние значения диапазонов показателей опасности аварий ОПО с высоким риском аварии (табл. 8, 9) характеризуют возможность возникновения крупных аварий, а на ОПО с чрезвычайно высоким риском аварии – особо крупных аварий.

Таблица 9

Показатели и критерии категорирования аварийной опасности производственных объектов

Категория опасности ОПО 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 (НОА)	2) количество человек, у которых могут быть нарушены условия жизнедеятельности при НОА, чел.	3) возможное число погибших при НОА, чел.	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 человек 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	Более 500
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	50 – 500
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	10 - 50
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

В рамках подсистемы «дорожная карта» в зависимости от обстановки, характера и масштаба реальной аварийной опасности и прогнозируемой угрозы крупных аварий в системе ОПО 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;

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.

Практические результаты теоретических исследований причин и последствий российских и зарубежных крупных аварий формализованы 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 столько 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 ТЭК 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 классического индустриализма; современные крупные аварии – это явление резкого и необратимого роста информационно-энергетической разупорядоченности сложных технико-социальных индустриальных систем в предельно опасных 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 репутационных потерь и последствий непредотвращенных крупных аварий.

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

- по числу крупных аварий с количеством погибших более 50 чел. РФ опередила послевоенную РСФСР, добыв подземным способом втрое меньше угля; существенно изменилось соотношение между «обычными» и крупными авариями: в РСФСР в 1980-х гг. одна крупная авария (> 10 погибш.) приходилась в среднем на 313 регистрировавшихся аварий, в РФ в 1990-х гг. – одна на 86, а в 2000-х гг. – уже одна на 33; в реструктуризацию средняя доля наиболее опасных аварий со взрывами (горением, вспышками) газа и угольной пыли в общем количестве регистрируемых аварий выросла более чем в 7 раз - с 3,5 до 25%; в РСФСР в последние 25 лет ежегодно происходила одна условная авария с гибелью 10 чел., а в РФ – три;

- 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 и абсолютными для системы поднадзорных ОПО.

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

Показано, что вследствие значительного разнообразия причин аварий на ОПО, сценариев их возникновения и развития, широкого спектра возможных последствий промышленных аварий установление абсолютно одинаковых для всех ОПО критериев допустимого риска аварии не представляется возможным как по методическим, так и по этическим соображениям: допустимый риск аварии, как мера приемлемой опасности, не является единственным и абсолютным критерием обеспечения промышленной безопасности. 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 формализованы в разработанную долгосрочную научно-техническую концепцию информационно-аналитической системы риск-ориентированного предупреждения угроз крупных аварий в системе поднадзорных ОПО ТЭК, включающую динамически формируемую карту опасностей крупных аварий с разработанным классификатором степени риска аварий. Система риск-ориентированного предупреждения крупных аварий необходима для: проведения безопасной технологической модернизации поднадзорных ОПО; адаптации подсистемы промышленной безопасности ОПО к новым пореформенным угрозам и вызовам; повышения эффективности всей системы национальной безопасности России.

5. На основании выполненных автором исследований в диссертационной работе разработаны теоретические положения риск-ориентированного анализа опасностей и угроз крупных промышленных аварий, решена научно-методическая проблема

обоснованного отступления от действующих норм безопасности для модернизируемых технологических процессов, а также изложены новые научно обоснованные технологические решения установления допустимого риска аварии для оценки достаточности компенсирующих мер безопасности.

В перспективных тематических исследованиях целесообразна дальнейшая научно-техническая разработка:

- риск-ориентированных индикаторов аварийной опасности и антиаварийной защищенности: показателей, связывающих случайные величины ущербов от крупных аварий и времени между ними в больших межотраслевых системах ОПО; 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 поставарийного реагирования к государственному планированию защищенности от крупных аварий на основе мониторинга полного риска издержек аварийности и травматизма при долгосрочной безопасной эксплуатации технологически модернизируемых ОПО.

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 ТЭК.

Список публикаций, в которых отражены основные научные результаты диссертации:

Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России

1. Дадонов, Ю.А. 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. – N11. – 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. – N03. - С.30-32.
8. Гражданкин, А.И. Особенности анализа и оценки последствий аварий на опасных производственных объектах //Безопасность труда в промышленности. – 2003. – N08. – 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.
10. Гражданкин, А.И. Управление риском: миф или реальность // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – N01. – 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. Махутов, Н.А. Стандартизация и регламентация в сфере безопасности / Н.А. Махутов, А.И. Гражданкин, П.Г. Белов // Управление риском. – 2004. - №1. – С.16-23.
13. Махутов, Н.А. 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. – N03. - 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. – N06. – С.33-37.
16. Гражданкин, А.И. Оценка техногенного риска: техническое регулирование, стандартизация, критерии приемлемости // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – N07. – 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. Можяев, А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, А.В. Пчельников, П.Г. Белов //Безопасность труда в промышленности. – 2004. – N08. – 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. – N10. – 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. – N1. – С.46-49.
21. Гражданкин, А.И. Современные методы анализа техногенного риска в работах молодых ученых // Безопасность труда в промышленности. – 2005. – N1. – 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. – N5. – С.46-48.
 23. Гражданкин, А.И. Промышленная и экологическая безопасность опасных производственных объектов // Безопасность труда в промышленности. – 2005. – N06. – 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. – N09. – С.27-30.
 25. Гражданкин, А.И. Программные средства в области анализа техногенного риска // Безопасность труда в промышленности. – 2005. – N12. – 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. – N01. – С.34-40.
 27. Иванов, Е.И. О противодействии технологическому терроризму / Е.И. Иванов, А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.В. Ферапонтов // Безопасность труда в промышленности. – 2006. – N01. – 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. – N03. – 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. – N03. – С.8-13.
 30. Гражданкин, А.И. Особенности обеспечения промышленной безопасности при эксплуатации опасных производственных объектов в современных условиях / А.И. Гражданкин, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – 2007. – N04. – 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. – N06. – С.69.
 33. Гражданкин, А.И. Анализ техногенного риска в работах молодых ученых // Безопасность труда в промышленности. – 2007. – N12. – С.69.
 34. Гражданкин, А.И. Обеспечение промышленной безопасности на опасных производственных объектах угольной промышленности // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – N02. – С.17-21.
 35. Гражданкин, А.И. Научно-техническая инволюция в отечественной промышленности. Предупреждение аварийности и травматизма // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – N03. – С.26-31.
 36. Гражданкин, А.И. Показатели и критерии приемлемой опасности промышленной аварии // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – N06. – С.52.

37. Гражданкин, А.И. Оценка прямого и косвенного техногенного ущерба // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – N11. – С.59-60.
38. Гражданкин, А.И. О безопасности труда на периферии прогресса // Охрана труда и социальное страхование. – 2008. – №12. – с.23-30.
39. Гражданкин, А.И. Техническое регулирование: неприемлемый риск // Охрана труда и социальное страхование – №3. – 2009. – с.38-45.
40. Гражданкин, А.И. Анализ опасностей и оценка техногенного риска в исследованиях молодых ученых //Безопасность труда в промышленности. – 2009. – N6. – С.53-54.
41. Гражданкин, А.И. Безопасность техносферы и управление риском. Мифы и реальность // Стандарты и качество. – №4. – 2009. – с.84-88.
42. Гражданкин, А.И. Об оценке фоновых рисков промышленных аварий в ТЭК / А.И. Гражданкин, В.И. Иванов // Безопасность труда в промышленности. – 2009. – N3. – С.79-81.
43. Гражданкин, А.И. Промышленная безопасность – оберегающая сфера отечественного производства // Безопасность труда в промышленности. – 2009. – N9. – С.54-58.
44. Гражданкин, А.И. Цивилизационный подход к организации безопасного труда // Охрана труда и социальное страхование. – 2009. – N11. – С.35-40.
45. Гражданкин, А.И. Безопасность труда в промышленности – оберегающая сфера отечественного производства // Безопасность в техносфере. – 2009. – № 5. – С.44-49.
46. Гражданкин, А.И. Имитационная модернизация: от безопасности к рискам / А.И. Гражданкин, А.С. Печеркин //Безопасность труда в промышленности. – 2010. – N2. – С.38-42.
47. 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. – N3. – С.40-47.
48. Гражданкин, А.И. Промышленная безопасность отечественной и мировой угледобычи / А.И. Гражданкин, А.С. Печеркин, М.А. Иофис // Безопасность труда в промышленности. – №9. – 2010. – с.36-43.
49. 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. - №9. - 2010. - с.49-51.
50. Гражданкин, А.И. Неприемлемый риск технического регулирования в промышленной безопасности // Химическая техника. – №1. – 2011 г. – с.23-26.
51. Гражданкин, А.И. Крупные промышленные аварии: из углепрома в постиндустрию // Безопасность труда в промышленности. – №8. – 2011. – с.58-62.
52. Гражданкин, А.И. Угольные катастрофы в исторической России и мире / А.И. Гражданкин, А.С. Печеркин, М.А. Иофис // Безопасность труда в промышленности. – №11. – 2011. – с.56-64.
53. Гражданкин, А.И. В каком смысле безопасность? // Пожаровзрывобезопасность. – №3. – 2012. – с.81-85.
54. 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. – №7. – 2012. – с.85-92.

55. 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. – №10. – 2012. – с.43-48.
56. Пуликовский, К.Б. О риске свободы в безопасности (Что модернизировать в России: запреты «безопасности» или разрешение «свободы»?) / К.Б. Пуликовский, А.И. Гражданкин // Безопасность в техносфере. – №4. – 2013. – с. 71-77.
57. 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. – №7. – 2013. – с.58-66.
58. Гражданкин, А.И. Анализ опасностей и оценка риска аварий в обосновании промышленной безопасности // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 6. – С.90-92.
59. Гражданкин, А.И. Методическое обеспечение анализа опасностей и оценки риска промышленных аварий // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 6. – С.82-85.
60. Гражданкин, А.И. Анализ опасностей и оценка риска промышленных аварий в руководствах по безопасности // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 12. – С.75-78.
61. 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.
62. Гражданкин, А.И. Методические проблемы обоснования безопасности опасного производственного объекта // Безопасность труда в промышленности. – 2015. – №6. – С. 76-78.
63. Радионова, С.Г. 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.
64. Гражданкин, А.И. Практика оценки риска аварий на опасных производственных объектах // Безопасность труда в промышленности. – 2015. – №12. – С. 80-81.
65. Гражданкин, А.И. Об индикаторах опасностей крупных промышленных аварий в угольных шахтах // Безопасность труда в промышленности. – 2016. – №4. – С. 52-58.

Монографии

66. 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 / научн. руковод. К.В. Фролов. – 2006. – 640 с.
67. 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 / научн. руковод. К.В. Фролов. –2006. – 752 с.
68. 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 / научн. руковод. К.В. Фролов. –2007. – 816 с.
69. 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 / научн. руковод. К.В. Фролов. – 2007. – 864 с.

70. Гражданкин, А.И. Предотвращение аварий и техногенных катастроф/ в моногр. Актуальные вопросы предупреждения чрезвычайных ситуаций/ под общ. ред. В.А. Акимова. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2010. – с. 47-73.
71. 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.
72. 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.
73. Белая книга России. Строительство, перестройка и реформы: 1950–2013 / сост. А.И. Гражданкин, С.Г. Кара-Мурза. – М.: Научный эксперт, 2015. – 728 с.
74. 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

75. К вопросу об использовании вероятностных оценок для анализа безопасности опасных производственных объектов / Гражданкин А.И., Лисанов М.В., Печеркин А.С., Белов П.Г.// 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.
76. Показатели и критерии опасности промышленных аварий / Гражданкин А.И., Лисанов М.В., Печеркин А.С., Сидоров В.И. // Международная научно-практическая конференция «Промышленная безопасность»: тезисы докладов. – М.: ГУП "НТЦ "Промышленная безопасность", 2003. – с.101-108.
77. Гражданкин, А.И. Риск аварий//Берг-коллегия. – 2003. – №3. - с.8-11.
78. Гражданкин, А.И., Лисанов М.В. Анализ результатов оценок риска аварий, представленных в декларациях промышленной безопасности опасных производственных объектов//Семинар «Об опыте декларирования промышленной безопасности и страхования ответственности. Развитие методов оценки риска аварий на опасных производственных объектах». 14-15 октября 2003 года: тезисы докладов. – М.: ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. – с.29-35.
79. 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. Пятый тематический семинар. Москва, 26-27 октября 2004 г.: тезисы докладов. – М.: ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2004. – с.98-105.
80. Риск крупных аварий на опасных производственных объектах / Гражданкин А.И., Лисанов М.В., Филяев С.В. //Об опыте декларирования промышленной безопасности и страхования ответственности. Развитие методов оценки риска аварий на опасных производственных объектах. Пятый тематический семинар. Москва, 26-27 октября 2004 г.: тезисы докладов. – М.: ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2004. – с.111-115.
81. Прогнозирование и оценка степени приемлемости риска аварии на опасных производственных объектах / Гражданкин А.И., Лисанов М.В., Пчельников А.В. // Проблемы управления безопасностью сложных систем: труды

- ХII международной конференции (Москва, декабрь 2004 г.). – М: РГГУ, 2005. – с. 267-270.
82. Гражданкин, А.И. Основные принципы нормирования техногенного риска//Материалы 2-й Международной практической конференции «Риск-менеджмент и страхование в ТЭК» Москва, 11 марта 2005 г. – М.:ИД «Нефтегазовая вертикаль», 2005 г.
83. 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.
84. Основные принципы нормирования допустимого техногенного риска/ Гражданкин А.И., Лисанов М.В., Пчельников А.В. // 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.
85. Гражданкин, А.И. Как оценить риск промышленной аварии //Риск-менеджмент. – 2007. - № 5-6.– с.106-108.
86. Безопасная эксплуатация опасных производственных объектов в условиях современных производственных отношений / Гражданкин А.И., Сидоров В.И. // Проблемы безопасности критичных инфраструктур муниципальных образований и территорий: тезисы докладов Всероссийской конференции и XI Школы молодых ученых. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – с.18-24.
87. Гражданкин, А.И. Трагедия технического регулирования // Методы оценки соответствия. – 2007. - № 9.– с.46-47.
88. 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.
89. Гражданкин А.И. Предупреждение аварийности и травматизма на опасных производственных объектах угольной промышленности // Библиотека инженера по охране труда. – 2008. - №5. – с.18-27.
90. 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.
91. Гражданкин, А.И. Неприемлемый риск «внетехнического разрегулирования» // Методы оценки соответствия. – 2009. - № 3.– с.8-10.
92. 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.
93. Гражданкин, А.И. От управления к менеджменту «рисков» // Безопасность критичных инфраструктур и территорий: Сборник трудов III Всероссийской конференций и XIII Школы молодых ученых 2009г. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – с.24-26.

94. Гражданкин, А.И. Реформа технического регулирования: подмена безопасности «рисками» // Национальная безопасность: научное и государственное управленческое содержание: материалы Всеросс. науч. конф., 4 дек. 2009 г., Москва / Центр пробл. анал. и гос.-упр. проект. – М. Научный эксперт, 2010. – с. 238-251.
95. Гражданкін, О.І. Уроки реструктуризації // Промислова безпека. – 2010. – №10. – с. 18-21.
96. Гражданкін, О.І. Безопасная модернизация постсоветской протехносферы // Промислова безпека. – 2010. – №12. – с.26-31.
97. Гражданкін, О.І. Теория управления рисками. Мифы и реальность // Промислова безпека. – 2011. – №1. – с.26-29.
98. Гражданкин А.И. Современные опасности крупных промышленных аварий. Опыт индустриального мира. Уроки для Украины // Промислова безпека. – 2011. – №10. – с.18-24.
99. Гражданкин, А.И. Историография отечественных угольных катастроф // Промислова безпека. – 2012. – №4. – с.42-51.
100. Гражданкин, А.И. О риск-ориентированном подходе в обеспечении промышленной безопасности // Промислова безпека. – 2012. – №5. – с.42-45.
101. Гражданкин, А.И. К риск-ориентированной промбезопасности // Методы оценки соответствия. – 2012. – №7. – с.18-23.
102. Гражданкин, А.И. Риск-ориентированный подход и критерии приемлемого риска промышленных аварий // Промислова безпека. – 2012. – №6. – с.36-39.
103. Гражданкин, А.И. Риск-ориентированный подход в промышленной безопасности. Тактические задачи и долгосрочные цели // Промислова безпека. – 2012. – №7. – с.46-47.
104. 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-сырьевой университет «Горный». – СПб, 2014. – с.35-37.
105. 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.