

На правах рукописи



Гордиенко Денис Михайлович

**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОСОБО ОПАСНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИ
СЛОЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО
КОМПЛЕКСА**

Специальность: 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность
(технические науки, отрасль нефтегазовая)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2018

Работа выполнена в ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России в отделе пожарной безопасности промышленных объектов, технологий и моделирования техногенных аварий

Научный консультант: Шебеко Юрий Николаевич,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Страхов Валерий Леонидович
доктор технических наук, профессор
Акционерное общество «Центральный Научно-исследовательский институт специального машиностроения», начальник отдела

Горев Вячеслав Александрович
доктор физико-математических наук
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», профессор кафедры «Комплексная безопасность в строительстве»

Годунов Игорь Андреевич
доктор химических наук
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», ведущий научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (Федеральный центр науки и высоких технологий)

Защита состоится «25» апреля 2018 г. в 11 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 205.002.02 в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Б. Галушкина, 4. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России и на сайте:
<http://academygps.ru/upload/iblock/d0b/d0b37fc02044df04b24417d2936fbb62.pdf>

Автореферат разослан «07» февраля 2018 г.

Ученый секретарь
доктор технических наук, доцент



Сивенков Андрей Борисович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время в России осуществляется проектирование и строительство значительного количества особо опасных и технически сложных производственных объектов нефтегазового комплекса повышенной пожарной опасности, аварии с пожарами и взрывами на которых могут привести к катастрофическим последствиям.

Современные опасные производственные объекты нефтегазового комплекса представляют собой сложный комплекс технологических установок, зданий и сооружений, которые характеризуются высокой концентрацией горючих веществ и материалов, технологического оборудования и трубопроводов, отсутствием достаточных противопожарных разрывов, значительными горизонтальными и вертикальными размерами. Так, например, при реконструкции современных нефтехимических комбинатов появляется необходимость проектирования и строительства пожаровзрывоопасных зданий высотой более 50 м, а иногда и более 100 м.

Кроме того, в последнее время в результате развития населенных пунктов, процессов урбанизации и превращения нескольких населенных пунктов в агломерации значительное число особо опасных производственных объектов нефтегазового комплекса либо приблизилось к населенным пунктам, либо оказалось непосредственно в черте городской застройки. Такая ситуация сложилась с большинством нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов, включающими в свой состав товарно-сырьевые склады ЛВЖ, ГЖ и СУГ, а также с некоторыми магистральными трубопроводами.

Примерами таких объектов могут служить Московский, Туапсинский, Хабаровские НПЗ, Тобольский НКК, а также подходящие к ним магистральные нефтепроводы, газопроводы и продуктопроводы. Аварии с пожаром и взрывом на таких объектах также могут иметь катастрофические последствия как для самих производственных объектов, так и для населенных пунктов.

Еще одним ярким примером особо опасных производственных объектов нефтегазового комплекса являются морские нефтегазодобывающие платформы, высокая пожарная опасность которых подтверждается крупномасштабными инцидентами, имевшими место на практике. Аварии с пожарами и взрывами на морских нефтегазодобывающих платформах могут привести к катастрофическим последствиям, для ликвидации которых может потребоваться привлечение сил и средств на уровне одного или даже нескольких государств.

Особое внимание к обеспечению, в том числе, и пожарной безопасности особо опасных и технически сложных объектов нашло свое отражение в законодательстве Российской Федерации. Для таких объектов установлен особый порядок разработки проектной документации, а также ее государственной экспертизы.

Согласно Градостроительному кодексу Российской Федерации к особо опасным и технически сложным объектам, входящим в состав объектов нефтегазового комплекса, относятся опасные производственные объекты, на которых получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются опасные вещества в количествах, превышающих предельные. Такие вещества и предельные количества опасных веществ соответственно указаны в приложениях 1 и 2 к Федеральному закону от 21 июля 1997 года № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Таким образом, обеспечение пожарной безопасности особо опасных и технически сложных производственных объектов нефтегазового комплекса является актуальной проблемой.

Степень разработанности темы исследования. В области обеспечения пожарной безопасности объектов нефтегазового комплекса в прошлом был выполнен ряд исследований. Здесь следует отметить работы Н.Н. Брушлинского, А.Н. Елохина, Н.Н. Бурдакова, А.П. Шевчука, А.Н. Баратова, Ю.Н. Шебеко, И.А. Болодьяна, В.И. Присадкова, В.П. Назарова, С.А. Швыркова, С.В. Пузача, В.В. Холщевникова, М.В. Лисанова, В.П. Молчанова, Ю.И. Дешевых, А.И. Гилетича, В.С. Сафонова, М.Н. Мансурова, А.Н. Черноплекова, И.В. Каплина, С.М. Pietersen, M. Morris, G.A. Clay, V.C. Marshall, B.J.M. Alle, N.A. Roberts, A. Wolski, B.J. Paaske, L. Nesheim, O. Thomassen, L. Tronstad, A. Rajendram, и других российских и зарубежных ученых.

Однако, несмотря на большое количество отечественных и зарубежных исследований в рассматриваемой области многие вопросы, касающиеся данного исследования, остаются неохваченными. Анализ ранее выполненных работ показал необходимость совершенствования методов оценки пожарного риска для зданий производственных объектов нефтегазовой отрасли с целью:

- повышения точности расчетных методов;
- обеспечения возможности учета более широкого перечня мероприятий по обеспечению пожарной безопасности;
- возможности более точного учета воздействия опасных факторов пожара (ОФП) на человека, реализующихся при различных сценариях развития пожара.

Также необходима разработки методики определения расчетных величин пожарного риска для линейной части магистральных трубопроводов.

Не проводились исследования по разработке комплекса научно-обоснованных требований к мероприятиям по предотвращению пожара и противопожарной защите морских стационарных нефтегазодобывающих платформ на шельфе России, складов СУГ, ЛВЖ и ГЖ, магистральных трубопроводов при размещении их в особых условиях (на расстояниях до окружающих объектов менее нормативных).

Цель работы – методологическое обеспечение пожарной безопасности особо опасных и технически сложных производственных объектов нефтегазового комплекса.

Основные задачи исследования:

1) совершенствование и развитие методов оценки пожарной опасности и пожарного риска;

2) совершенствование критериев допустимого пожарного риска, в том числе критерия, основанного на учете частоты потери основной функции обеспечения безопасности;

3) разработка и апробирование подходов к использованию методов логических деревьев событий при выработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности;

4) количественная оценка пожарного риска и влияния различных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности для морских нефтегазодобывающих платформ, товарно-сырьевых складов ЛВЖ, ГЖ и СУГ, линейной части магистральных трубопроводов;

5) развитие подходов по использованию автоматических установок газового пожаротушения для снижения пожаровзрывоопасности закрытых объемов производственных помещений в целях реализации аварийной предупредительной флегматизации закрытых объемов производственных помещений;

6) разработка комплекса требований к системам предотвращения пожара и противопожарной защиты морских стационарных нефтегазодобывающих платформ, товарно-сырьевых складов ЛВЖ, ГЖ и СУГ, линейной части магистральных трубопроводов прокладываемых и размещаемых в особых условиях.

Объектом исследования являлись методы определения расчетных величин пожарного риска для производственных зданий и сооружений, особенности особо опасных и технически сложных объектов (включая технологические процессы, объемно-планировочные и технические решения, характеризующие пожарную опасность рассматриваемых в работе объектов), методы обеспечения пожарной безопасности особо опасных и технически сложных производственных объектов нефтегазового комплекса.

В качестве **предмета исследования** рассматривались различные противопожарные мероприятия, направленные на снижение пожарной опасности объектов нефтегазового комплекса и позволяющие обеспечить пожарную безопасность на необходимом уровне.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1) создана новая методика оценки пожарного риска для зданий и сооружений производственных объектов нефтегазового комплекса, в том числе для линейной части магистральных трубопроводов, в которой в отличие от существующих методик учитываются различные сценарии развития пожара, влияние эскалации, эффективность технических решений по обеспечению

пожарной безопасности, вероятностный характер эвакуации, комплексное воздействие опасных факторов пожара на человека;

2) впервые вводится новый критерий допустимого пожарного риска как частота потери основной функции обеспечения безопасности;

3) развит новый подход к использованию методов логических деревьев событий при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности;

4) создана новая база количественных данных по оценке пожарного риска особо опасных и технически сложных производственных объектов нефтегазового комплекса (морские стационарные нефтегазодобывающие платформы, товарно-сырьевые склады ГЖ, ЛВЖ и СУГ, взрывопожароопасные производственные здания высотой более 50 м, линейная часть магистральных трубопроводов);

5) предложен новый способ снижения пожаровзрывоопасности закрытых производственных помещений - аварийная предупредительная флегматизация защищаемого пространства с использованием автоматических установок газового пожаротушения;

6) впервые разработан комплекс научно-обоснованных требований к мероприятиям по обеспечению пожарной безопасности морских стационарных нефтегазодобывающих платформ, товарно-сырьевых складов ЛВЖ, ГЖ и СУГ, размещаемых в стесненных условиях, а также линейной части магистральных трубопроводов.

Теоретическая и практическая значимость диссертации заключается в создании научных основ для нормирования пожарной безопасности особо опасных и технически сложных производственных объектов нефтегазового комплекса.

Методы исследования основаны на использовании элементов теории вероятности и математической статистики, математического моделирования пожаров, выявления закономерностей, описания и обобщения, теоретическом анализе научных работ в области пожарной безопасности опасных производственных объектов.

Моделирование динамики распространения опасных факторов пожара в здании проводилось при помощи программ *FDS (Fire Dynamic Simulator)*, реализующей вычислительную гидродинамическую модель тепло-массопереноса при горении, и *CFAST (Consolidated Fire Growth and Smoke Transport Model)*, реализующей двухзонную модель для расчета тепло-массопереноса при пожаре. Расчеты времени эвакуации людей из зданий проводились при помощи упрощенной аналитической модели движения людского потока.

Положения, выносимые на защиту:

1) комплекс методов определения расчетных величин пожарного риска для производственных объектов, включающий метод логических деревьев событий, учет вероятностного характера времени блокирования эвакуационных путей ОФП, учет вероятностного характера потери строительными конструкциями

несущей способности при определении вероятности эвакуации и учет комплексного воздействия токсичных продуктов сгорания на человека;

2) дополнительный критерий допустимого пожарного риска для особо опасных производственных объектов как значение частоты потери основной функции обеспечения безопасности;

3) результаты оценки пожарного риска для типовой морской стационарной нефтегазодобывающей платформы, товарно-сырьевых складов ЛВЖ, ГЖ и СУГ, размещаемых в особых условиях, линейной части магистральных трубопроводов;

4) предложения по использованию автоматических установок газового пожаротушения для снижения пожаровзрывоопасности в целях реализации аварийной предупредительной флегматизации закрытых объемов производственных помещений;

5) разработанный с учетом предложенных подходов комплекс требований к системе обеспечения пожарной безопасности морских стационарных нефтегазодобывающих платформ, товарно-сырьевых складов ЛВЖ, ГЖ и СУГ, размещаемых в особых условиях, а также линейной части магистральных трубопроводов.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность и обоснованность основных результатов, выводов диссертации обусловлены применением современных методов и средств исследований, внутренней непротиворечивостью результатов и их согласованностью с данными других исследователей, а также положительными результатами внедрения в практику. Идея диссертации базируется на анализе практики и обобщении передового опыта в области обеспечения пожарной безопасности.

Основные результаты работы доложены на:

– 17-й Всероссийской научно-практической конференции (г. Балашиха, ВНИИПО, 2002);

– 18-й Всероссийской научно-практической конференции (г. Балашиха, ВНИИПО, 2003);

– Конференции «Управление рисками и устойчивое развитие единой системы газоснабжения России» (RISM) (г. Москва, ООО «ВНИИГАЗ», 2006);

– Международной конференции «Безопасность морских объектов SOF-2007» (г. Москва, ООО «ВНИИГАЗ», 2007);

– 20-й Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию создания института «Исторические и современные аспекты решения проблем горения, тушения и обеспечения безопасности людей при пожарах» (г. Балашиха, ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2007);

– 21-й Международной научно-практической конференции (г. Балашиха, ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2008);

– 11-й Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности» (г. Балашиха, ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009);

– 11-й Российской научно-практической конференции «Техническое регулирование в нефтяной и газовой промышленности» (г. Москва, ОАО «Газпром», 2009);

– 12-й Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности» (г. Балашиха, ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2010);

– 24-ой Международной научно-практической конференции по проблемам пожарной безопасности, посвященной 75-летию создания ВНИИПО (г. Балашиха, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2012);

– 11-ой Международной выставке и конференции по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ – *RAO/CIS Offshore 2013* (г. Санкт-Петербург, ЛЕНЭКСПО, 2013);

– 4-ой ежегодной конференции Института Адама Смита «Промышленная и экологическая безопасность нефтегазовых проектов. Россия и СНГ – *HSE In Oil&Gas*» (г. Москва, Марриотт Гранд отель, 2014);

– 12-м Международном форуме по промышленной безопасности (г. Санкт-Петербург, Конгресс-Центр «Холидей Инн Санкт-Петербург – Московские ворота», 2014);

– 27-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности», посвященной 25-летию МЧС России в рамках проведения Международного салона «Комплексная безопасность – 2015» (г. Москва, ВДНХ, 2015);

– 28-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности» (г. Балашиха, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2016);

– 10-ом Международном салоне «Комплексная безопасность 2017» (г. Ногинск, Ногинский спасательный центр МЧС России, 2017).

Практическая реализация результатов работы состоит в следующем:

1) предложенный комплекс требований к мероприятиям по предотвращению пожара и противопожарной защите использован при разработке нормативных документов по пожарной безопасности:

– сводов правил по пожарной безопасности СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям», СП 155.13130.2014 «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности», СП 156.13130.2014 «Станции автомобильные заправочные. Требования пожарной безопасности», СП 240.1311500.2015 «Хранилища сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности»;

– проектов сводов правил по пожарной безопасности «Морские стационарные платформы для добычи нефти и газа на континентальном шельфе. Требования пожарной безопасности», «Склады сжиженных углеводородных газов. Требования пожарной безопасности»;

2) предложения по совершенствованию методики по определению расчетных величин пожарного риска при разработке и внесении изменений в «Методику определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах», разработке «Пособия по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов» (издано ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2012 г.);

3) разработан и внедрен комплекс мероприятий по обеспечению пожарной безопасности следующих объектов:

- новый комплекс по производству олефинов ОАО «Нижнекамскнефтехим»;
- объекты проекта «Сахалин-2»;
- комплекс гидрокрекинга ООО «Афипский НПЗ»;
- магистральные газопроводы проекта «Южный поток»;
- морская ледостойкая стационарная платформа «Приразломная»;
- объекты комплекса по добыче, подготовке, сжижению газа, отгрузке сжиженного природного газа и газового конденсата Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения (проект Ямал СПГ);
- объекты «Западно – Сибирского комплекса глубокой переработки углеводородного сырья в полиолефины мощностью 2,0 млн.тонн в год с соответствующими объектами общезаводского хозяйства».

Публикации. По результатам исследований опубликовано более 137 научных работ в открытой печати.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и одного приложения. Содержание работы изложено на 386 страницах машинописного текста, включает в себя 57 таблиц, 40 рисунков, список литературы из 267 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, проанализированы объект и предмет исследования, показаны научная новизна работы и ее практическая значимость.

Первая глава посвящена вопросам совершенствования подходов к оценке и управлению пожарным риском для производственных объектов.

Представлен анализ отечественных и зарубежных научных публикаций и нормативных документов по проблемам оценки пожарного риска.

Проведено сравнение принятых в настоящее время в России критериев предельно допустимого пожарного риска для производственных объектов с критериями, используемыми в других странах. Рассмотрены основные этапы количественной оценки пожарного риска для зданий, сооружений и применяемые при этом методы.

Количественная оценка риска сводится к выявлению возможных сценариев развития пожароопасной ситуации и определению последствий каждого сценария развития пожара. К настоящему времени разработан и с успехом

применяется аппарат анализа риска, включающий построение логических деревьев событий.

Для оценки риска на производственных объектах широкое применение нашли вероятностные методы. Проведенный анализ показывает, что к настоящему времени наиболее часто употребляемым методом для определения сценариев возникновения и развития пожаров при оценке пожарного риска является метод логических деревьев событий, однако действующая «Методика определения расчетных величин пожарного риска» (утв. Приказом МЧС России от 10.07.2009 № 404) (далее - Методика) не предполагает использование при оценке риска для производственных зданий подобных деревьев событий, но устанавливает необходимость рассмотрения различных сценариев пожаров.

Рассмотрены критерии блокирования эвакуационных путей ОФП. В настоящее время нормируются предельные значения ОФП, учитываемые независимо друг от друга. Однако современные данные показывают, что при одновременном поступлении продуктов горения в организм человека наблюдается сложный эффект совместного воздействия. Учет совместного воздействия продуктов сгорания на человека может внести вклад в конечные величины потенциального и индивидуального риска.

Следует отметить, что в существующей Методике, в независимости от того, на сколько меньше сумма расчетного времени эвакуации и интервала времени от начала реализации сценария пожара до начала эвакуации времени блокирования эвакуационных путей опасными факторами пожара, вероятность успешной эвакуации будет равна 0,999. Однако, эти параметры являются случайными величинами и имеют вероятностный характер. Также следует учесть, что блокирование эвакуационных путей может произойти не только в следствии распространения ОФП, но также и при потери конструкциями целостности при пожаре.

Федеральным законом от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (далее – Федеральный закон) с использованием понятия пожарного риска установлены условия соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности (превышение или не превышение допустимых значений пожарного риска, которые определены через нормативные значения пожарного риска). Критерии предельно допустимого пожарного риска используются в разных странах с целью нормирования безопасности населения вблизи производственных объектов и персонала на территории производственных объектов. Поэтому особое значение приобретает правильное определение этих критериев. В работе проведен сравнительный анализ существующих в России и за рубежом критериев допустимого пожарного риска для производственных объектов, который показал, что для персонала производственных объектов критерии, установленные в России, в целом, соответствуют практике развитых стран мира.

По результатам проведенных исследований разработаны и приведены в первой главе предложения по совершенствованию методики определения индивидуального и социального пожарного риска для производственных зданий и сооружений нефтегазовой отрасли. Как уже было отмечено, при рассмотрении пожаров в зданиях предлагается использование метода логических деревьев событий, в которых учтены характер развития пожара, эффективное срабатывание или отказ систем пожарной сигнализации, оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ), напрямую влияющих на распространение ОФП по зданию и обеспечению возможности своевременной эвакуации людей.

Согласно Методике, величина индивидуального пожарного риска для работника m при его нахождении в здании объекта, обусловленная опасностью пожара, взрыва в здании, определяется по формуле:

$$R_m = \sum_{n=1}^N P_n q_{nm}, \quad (1)$$

где P_n – величина потенциального риска в n -ом помещении здания, год⁻¹; q_{nm} – вероятность присутствия работника m в n -ом помещении (определяется исходя из времени нахождения человека в n -м помещении здания в течение года на основе решений по организации эксплуатации и технического обслуживания оборудования и зданий); N – число помещений в здании.

Учитывая необходимость рассмотрения различных сценариев возникновения и развития пожара в здании, величина потенциального риска P_n (год⁻¹) в n -ом помещении здания определяется по формуле:

$$P_n = \sum_{j=1}^J Q_j L_{nj}, \quad (2)$$

где J – число расчетных сценариев развития пожара в здании; Q_j – частота реализации в течение года j -го сценария пожара, год⁻¹; L_{nj} – условная вероятность поражения человека при его нахождении в n -ом помещении при реализации j -го сценария пожара.

С учетом использования метода логических деревьев событий частота реализации в течении года j -го сценария пожара определяется по формуле:

$$Q_j = F_i \prod_{k=1}^{K_j} E_k, \quad (3)$$

где F_i – частота реализации в течение года i -го начального события, год⁻¹; K_j – число ключевых событий при развитии j -го сценария пожара, связанного с возникновением i -ого начального события; E_k – условная вероятность реализации k -го ключевого события.

Под ключевым событием понимается событие, реализация которого приводит к вариантности развития пожароопасных ситуаций (пожаров), то есть точка ветвления дерева событий.

В качестве начальных событий рассматриваются пожароопасные ситуации или пожары, возникающие в помещениях здания вследствие:

- поступления в окружающее пространство пожароопасных, пожаровзрывоопасных и/или взрывоопасных технологических сред;
- появления источника зажигания, способного инициировать пожар горючих веществ и материалов, обращающихся в помещении.

Условная вероятность поражения человека L_{nj} при его нахождении в n -ом помещении при реализации j -го сценария пожара определяется по формуле:

$$L_{nj} = (1 - E_{nj})(1 - S_{nj}), \quad (4)$$

где E_{nj} – вероятность эвакуации людей, находящихся в n -ом помещении здания, по эвакуационным путям при реализации j -го сценария пожара; S_{nj} – вероятность выхода из здания людей, находящихся в i -ом помещении, через аварийные или иные выходы.

Время эвакуации людей из здания, а также время блокирования путей эвакуации ОФП являются случайными величинами, поэтому при определении условной вероятности эвакуации людей следует сравнивать распределения этих величин, а не два абсолютных значения.

Методика также не учитывает блокирование путей эвакуации вследствие нарушения целостности или обрушения строительных конструкций. Однако, вклад в величину пожарного риска, обусловленный возможностью блокирования путей эвакуации при нарушении целостности их ограждающих конструкций, может быть при определенных условиях (большое число людей в помещении и малое значение предела огнестойкости) значителен.

Исходя из вышесказанного, вероятность эвакуации можно определить по формуле:

$$E_{nj} = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-\gamma_{nj}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx \right) (1 - C_{nj}), \quad (5)$$

где C_{nj} – вероятность потери несущими конструкциями своей целостности, определяется по формуле:

$$C_{nj} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-\beta_{nj}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx; \quad (6)$$

$$\beta_{nj} = \frac{FR - f_{\text{ЭКВ}nj}}{\sqrt{\sigma_{FR}^2 + \sigma_{\text{ЭКВ}j}^2}}, \quad (7)$$

где FR – предел огнестойкости несущих конструкций здания, который определяется на основе проектных решений, мин; $f_{\text{ЭКВ}nj}$ – эквивалентная продолжительность пожара соответствующая расчетному времени воздействия

j -го сценарии пожара при эвакуации людей из n -го помещения, мин; σ_{FR} – стандартное отклонение предела огнестойкости несущих конструкций здания; $\sigma_{ЭКВij}$ – стандартное отклонение эквивалентной продолжительности j -го сценария пожара.

$$\gamma_{nj} = \frac{0,8\tau_{\text{бл}nj} - t_{\text{р}nj} - \tau_{\text{н.э}nj}}{\sqrt{\sigma_{1nj}^2 + \sigma_{2nj}^2}}, \quad (8)$$

где $\tau_{\text{бл}nj}$ – время от начала реализации j -го сценария пожара до блокирования эвакуационных путей из n -го помещения в результате распространения на них ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования эвакуационных путей из n -го помещения), мин.; $t_{\text{р}nj}$ – расчетное время эвакуации людей из n -го помещения при j -ом сценарии пожара, мин.; $\tau_{\text{н.э}nj}$ – интервал времени от начала реализации j -го сценария пожара до начала эвакуации людей из n -го помещения, мин.; σ_{1nj} – стандартное отклонение расчетного времени эвакуации людей $t_{\text{р}nj}$ из n -го помещения при j -ом сценарии пожара; σ_{2nj} – стандартное отклонение времени $\tau_{\text{бл}nj}$ от начала реализации j -го сценария пожара до блокирования эвакуационных путей из n -го помещения в результате распространения на них ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования эвакуационных путей из n -го помещения).

Время $\tau_{\text{бл}nj}$ от начала реализации j -го сценария пожара до блокирования эвакуационных путей из n -го помещения в результате распространения на них ОФП определяется путем выбора из полученных в результате расчетов значений критической продолжительности пожара минимального времени.

В последние годы в мировой практике уделялось большое внимание усовершенствованию критериев воздействия на людей ОФП. Одним из наиболее современных нормативных документов, устанавливающих указанные критерии, является международный стандарт *ISO 13571:2007. Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data* (Опасность для жизни при пожаре. Руководящие указания по оценке времени, необходимого для эвакуации, учитывающие характеристики пожара). Согласно этому стандарту критическая продолжительность пожара ($t_{\text{КР}}^T$) по тепловому потоку и повышенной температуре определяется по времени достижения на путях эвакуации эффективной тепловой дозой (Q_{FED}) величины, равной 1.

Эффективная тепловая доза определяется по формуле:

$$Q_{\text{FED}} = \begin{cases} \sum_{t_1}^{t_2} \left(\frac{1}{t_{\text{conv}}} \right) \Delta t, & \text{если } q < 2,5 \text{ кВт/м}^2; \\ \sum_{t_1}^{t_2} \left(\frac{1}{t_{\text{rad}}} + \frac{1}{t_{\text{conv}}} \right) \Delta t, & \text{если } q \geq 2,5 \text{ кВт/м}^2, \end{cases} \quad (9)$$

где t_{rad} – допустимое время воздействия теплового излучения в течение промежутка времени Δt , мин.; t_{conv} – допустимое время воздействия повышенной температуры, мин.; q – интенсивность теплового потока, кВт/м²; Δt – промежуток времени воздействия, мин.; t_1, t_2 – границы временного интервала, в течение которого рассматривается возможность эвакуации людей из помещения, мин.

Допускается критическую продолжительность пожара по тепловому потоку и повышенной температуре определять по достижению на путях эвакуации одного из следующих критических значений:

- интенсивности теплового потока 2,5 кВт/м²;
- температуры воздуха 90°C (в случае, если в воздухе помещения содержание водяного пара менее 10 % (об.)).

Для помещений, в которых концентрация паров воды в воздухе составляет 10% (об.) и более, критическая продолжительность пожара по тепловому потоку и повышенной температуре определяется по достижению температуры воздуха на путях эвакуации 60°C.

Критическая продолжительность пожара по воздействию токсичных продуктов горения и термического разложения определяется по наименьшему из времен достижения эффективной дозой X_{FED} или эффективной концентрацией X_{FEC} величины, равной 1. К токсичным продуктам горения, для которых рассчитывается величина X_{FED} , относят вещества, вызывающие потерю сознания, приводящие к летальному исходу в результате гипоксии, воздействующее на центральную нервную систему и/или сердечно-сосудистую систему.

К токсичным продуктам, для которых рассчитывается величина X_{FEC} , относят вещества, которые стимулируют нервные рецепторы в глазах, дыхательных путях, вызывая разную степень дискомфорта и боль наряду с возбуждением различных физиологических защитных реакций.

Эффективная доза рассчитывается по формуле:

$$X_{FED} = \sum_{i=1}^n \sum_{t_1}^{t_2} \frac{C_i}{(Ct)_i} \Delta t, \quad (10)$$

где C_i – средняя концентрация i -го токсичного продукта горения или термического разложения в выбранный отрезок времени Δt , мкл·л⁻¹; Δt – выбранный отрезок времени, мин.; $(C \cdot t)_i$ – удельная экспозиционная доза, которая может воспрепятствовать самостоятельной эвакуации находящихся в опасной зоне людей, мкл·мин·л⁻¹.

Эффективная концентрация определяется по формуле:

$$X_{FEC} = \sum_i \frac{\varphi_i}{F_i}, \quad (11)$$

где φ_i – средняя концентрация i -го токсичного продукта горения и термического разложения, мкл·л⁻¹; F_i – концентрация i -го токсичного продукта, при которой люди, находящиеся в зоне пожара, не могут предпринимать эффективные действия, направленные на спасение, мкл·л⁻¹.

Допускается критическую продолжительность пожара по повышению на путях эвакуации концентрации токсичных продуктов горения и термического разложения определять по достижению на путях эвакуации критической концентрации каждого из токсичных продуктов горения с учетом их независимого действия (при их выделении при реализации рассматриваемого сценария).

Критическая продолжительность пожара ($t_{KP}^{П.В}$) по потере видимости определяется по времени достижения на путях эвакуации расстояния, критического по потере видимости. При этом целесообразно воспользоваться следующими значениями указанного критического расстояния:

- 5 м для всех сценариев пожара при площади помещения менее 100 м²;
- 5 м для сценариев развития пожара, связанных с успешным срабатыванием системы оповещения и управления эвакуацией 2-5 типа при площади помещения 100 м² и более;
- 10 м для всех сценариев пожара при площади помещения 100 м² и более для зданий, оборудованных СОУЭ 1 типа;
- 10 м для сценариев развития пожара, связанных с не успешным срабатыванием СОУЭ 2-5 типа при площади помещения 100 м² и более.

Предложенные совершенствования методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах были опробованы на примере расчета индивидуального пожарного риска для таких объектов, как высотное (100 м) производственное здание корпуса твердофазной поликонденсации полиэтилентерефталата и здания склада полиэтилена высокой плотности. Был проведен сравнительный анализ результатов расчета.

Данные объекты были выбраны в качестве примеров, позволяющих продемонстрировать влияние предлагаемых совершенствованных методов на величины потенциального риска: использование метода логических деревьев событий, учет вероятностного характера эвакуации, учет огнестойкости для уникальных зданий, имеющих продолжительные пути эвакуации, а также учет совместного влияния токсичных продуктов сгорания на человека, в том числе, не рассматриваемых в существующей Методике.

Вторая глава диссертационной работы посвящена вопросам обеспечения пожарной безопасности товарно-сырьевых складов ЛВЖ и СУГ, размещаемых в стесненных условиях.

При увеличении вместимости товарно-сырьевых складов, хранилищ и т.п., реконструкция данных объектов вынуждено проводится в стесненных условиях в силу невозможности расширения территории предприятия. В связи с этим в проекте реконструкции возникают вынужденные отступления от требований пожарной безопасности в части минимально допустимых расстояний между

различными участками объекта, что, как было отмечено ранее, может служить причиной развития инцидентов с пожарами и взрывами до аварий с катастрофическими для населения последствиями.

Проведенный в настоящей главе анализ состояния проблемы обеспечения пожарной безопасности рассматриваемых объектов позволяет заключить, что товарно-сырьевые склады, размещенные в стесненных условиях, являются объектами высокой пожарной опасности. При этом имевшие место пожары показывают, что на рассматриваемых объектах возможно каскадное развитие аварий с пожарами и взрывами, имеющих серьезные последствия. Из вышеизложенного следует, что разработка комплекса защитных мероприятий, направленных на снижение пожарной опасности товарно-сырьевых складов, остается актуальной задачей, и должна быть основана на исследовании особенностей, количественной оценке уровня пожарной опасности и способов его снижения.

В главе рассматриваются вопросы определения подходов к разработке комплекса защитных мероприятий, направленных на снижение до приемлемого уровня величин пожарных рисков объектов товарно-сырьевых складов ЛВЖ и СУГ, размещаемых в стесненных условиях. На практических примерах объектов товарно-сырьевого склада ЛВЖ и СУГ, размещенного в стесненных условиях, показаны способы решения задач по разработке комплекса защитных противопожарных мероприятий, позволяющих обеспечить требуемый уровень пожарной безопасности заданного объекта и методы учета различных защитных мероприятий при оценке пожарного риска для заданного объекта с целью обоснования эффективности и достаточности разработанного для указанного объекта комплекса противопожарных мероприятий. В качестве примеров были рассмотрены:

- нефтебаза, расположенная в черте населенного пункта;
- резервуарный парк нефтепродуктов, расположенный вблизи жилых и общественных зданий;
- товарно-сырьевой склад сжиженного углеводородного газа, расположенный в черте населенного пункта.

Однако, в силу большого объема реализация предлагаемых подходов к разработке комплекса защитных противопожарных мероприятий, направленных на снижение величин пожарного риска до приемлемых значений подробно в диссертационной работе приведена только для одного примера.

На основе оценки величин опасных факторов возможных на указанных объектах пожаров и расчетов размеров зон поражения указанными факторами были разработаны и предложены дополнительные защитные мероприятия. Эффективность и достаточность предложенных мероприятий обоснована оценкой величин индивидуального и социального пожарных рисков для населения, результаты которой показывают, что предложенные в работе дополнительные защитные мероприятия позволяют обеспечить требуемый уровень пожарной безопасности для населения.

На основе проведенного во второй главе анализа были разработаны некоторые требования пожарной безопасности для товарно-сырьевых складов ЛВЖ и ГЖ, размещенных в стесненных условиях. Разработанные требования являются общими требованиями пожарной безопасности, которые целесообразно предъявлять к товарно-сырьевым складам, размещенным в стесненных условиях.

Разработаны требования к способам хранения СУГ, типам резервуаров, требования к генеральному плану, зонированию территории, устройству дорог и проездов для пожарной техники, требования к размещению складов СУГ, к резервуарам, оборудованию и устройствам складов СУГ с резервуарами под давлением, требования к технологическим трубопроводам и арматуре, предохранительным устройствам от повышения давления, дренажным системам и системам сброса на свечу, к системам противопожарной защиты, противопожарному водоснабжению и др.

Кроме того разработаны специфические требования к резервуарам, оборудованию, арматуре и устройствам складов изотермического хранения СУГ.

В третьей главе диссертационной работы рассмотрены вопросы обеспечения пожарной безопасности морских стационарных нефтегазодобывающих платформ, предназначенных для освоения морских углеводородных месторождений. Наряду с их успешной эксплуатацией, история мировой морской нефтегазодобычи насчитывает ряд крупномасштабных аварий, которые показали, что аварийные ситуации, возникающие в процессе работ по бурению, добыче, подготовке и переработке добываемой продукции, а также при транспортировке нефти и газа, могут привести к большим человеческим жертвам, потере установок, огромному экономическому и тяжелейшему экологическому ущербу. При этом, наиболее частой причиной развития крупных аварий на морских установках является возникновение пожаров и взрывов.

Пожарная опасность этих сооружений в значительной степени обусловлена такими особенностями как удаленность от берега, концентрация технологического оборудования и жилых помещений на малой площади, трудности спасения людей в случае аварии, высокой вероятностью каскадного развития аварии при реализации различных иницилирующих событий, высокой пожаровзрывоопасностью добываемых продуктов.

В работе представлен аналитический обзор состояния проблемы обеспечения пожарной безопасности морских стационарных нефтегазодобывающих платформ, рассмотрены основные их типы и конструктивные особенности, в том числе наиболее распространенных на континентальном шельфе России – морских стационарных платформ (далее - МСП).

Для исследований в области обеспечения пожарной безопасности любых технически сложных систем и объектов большое значение имеет анализ аварийных ситуаций с пожарами и взрывами, имевших место при их

эксплуатации. Этому вопросу посвящен подраздел первой главы, в котором представлен краткий обзор аварий с пожарами и взрывами на МСП.

Примером катастрофической аварии со взрывом и пожаром служит авария на платформе *Deerwater Horizon*, произошедшая 20 апреля 2010 г. в 80 км от побережья штата Луизиана в Мексиканском заливе на месторождении Макондо. После взрыва на платформе начался пожар, продолжавшийся около 36 ч., после которого 22 апреля 2010 г. нефтяная платформа затонула. В результате аварии и пожара погибло 11 и пострадало 17 человек. Последовавший далее разлив нефти превратил эту аварию в одну из крупнейших техногенных и экологических катастроф в истории морской нефтегазодобычи. Через поврежденную скважину на глубине около 1500 м в Мексиканский залив за 152 дня вылилось около 5 млн. баррелей нефти, при этом нефтяное пятно достигло площади порядка 75 тысяч км². Подробное расследование выявило, что взрыв, пожар и утечка нефти и газа из скважины явились следствием целого ряда причин. Обобщив данные, опубликованные в докладе компании *British Petroleum* и в отчете компании *Det Norske Veritas* для Бюро по управлению, регулированию и охране океанских энергоресурсов (*BOEMRE*) Министерства внутренних дел США, можно сделать вывод о том, что причинами возникновения аварии и развития ее до масштабов катастрофы стали: человеческий фактор и технические отказы. Примечательно, что в некоторых системах обеспечения безопасности платформы сбой в работе произошел не из-за отказа какого-то одного конкретного узла, а из-за неработоспособности сразу нескольких элементов системы.

Исходя из анализа имевших место в мире аварий с пожарами и взрывами на МСП, сделан вывод о том, что пожарная опасность платформы существенным образом определяется возможностью эскалации аварии с пожарами и взрывами.

Основными факторами, обуславливающими высокую вероятность развития аварийных ситуаций по эскалационному сценарию на МСП, являются отличительные особенности данного объекта по сравнению с береговыми сооружениями нефтегазового комплекса. В диссертационной работе подробно рассматривается специфика пожарной опасности МСП, представлены данные о пожаровзрывоопасности проводимых основных технологических процессов, а также возможные причины возникновения и развития аварийных ситуаций.

Для завершения обзора состояния проблемы обеспечения пожарной безопасности МСП в работе проведен анализ требований зарубежных и отечественных нормативных документов, регламентирующих пожарную безопасность МСП, на основе которых осуществляется проектирование, строительство и эксплуатация рассматриваемых объектов. Обозначены принципиальные недостатки существующей в России нормативной базы в части обеспечения пожарной безопасности, выявлено отсутствие нормативных документов, регламентирующих на современном уровне безопасность объектов обустройства месторождений арктического региона,

а также отсутствие комплексного нормативного документа, регламентирующего пожарную безопасность МСП.

Таким образом, на основе проведенного анализа обосновываются и формулируются основные задачи исследования.

Учитывая наиболее распространенный во всем мире целеориентированный подход к обеспечению пожарной безопасности, а также тот факт, что пожарный риск является ключевым понятием Федерального закона, в работе проведены расчеты по оценке пожарного риска для типовой МСП.

Исходя из наиболее распространенных типов конструкций платформ, эксплуатирующихся на континентальном шельфе российских морей, в качестве типовой исследуется МСП со следующими параметрами:

- платформа представляет собой комплекс добывающего, технологического, энергетического и вспомогательного оборудования (различное функциональное назначение оборудования платформы представляется наиболее опасным с точки зрения обеспечения пожарной безопасности);

- конструкция платформы состоит из двух элементов: опорного основания гравитационного типа и установленного на нем интегрированного верхнего строения (ВС);

- жилой модуль типовой платформы размещается на том же опорном основании, что и добывающее и технологическое оборудование (рассматривается наихудший вариант размещения, когда персонал постоянно находится вблизи буровой и технологической зон);

- на платформе предусматривается вертолетная площадка и средства покидания в критических аварийных ситуациях.

Общий вид анализируемой МСП представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид типовой морской стационарной платформы

Основание гравитационного типа представляет собой 4 опорные шахтные колонны (буровая шахта, райзерная шахта, 2 шахты – хранилища дизельного

топлива). Интегрированное верхнее строение платформы опирается на опоры основания гравитационного типа и находится над поверхностью моря на высоте, исключая непосредственное воздействие на него льда и волн. Верхнее строение представляет собой многоуровневое сооружение, состоящее из нескольких палуб, на которых располагаются буровой и технологический модули, модуль вспомогательного оборудования, а также жилой модуль, системы безопасности платформы, вертолетная площадка, временное убежище, средства для покидания платформы. Примерами таких платформ могут служить новые морские стационарные платформы проектов «Сахалин – I» и «Сахалин – II», предназначенные для работ по освоению нефтегазовых месторождений континентального шельфа вблизи о. Сахалин.

В работе проанализированы особенности оценки пожарного риска для МСП и представлена используемая методология. В силу особенностей расположения МСП можно сделать вывод о том, что индивидуальный пожарный риск определяется только для людей, находящихся непосредственно на территории производственного объекта (в помещениях, модулях и открытых площадках платформы).

Также к особенностям оценки пожарного риска следует отнести:

- многообразие и большое число аварийных ситуаций с пожаром и взрывом, которые могут произойти с разной частотой, что обусловлено сложностью компоновочных и объемно-планировочных решений объекта, наличием большого числа оборудования различного функционального назначения, которое размещается на разных уровнях платформы;

- высокая вероятность развития аварийных ситуаций по эскалационному сценарию, обусловленная сложностью компоновочных и объемно-планировочных решений объекта в условиях ограниченной площади МСП, а также наличием большого количества пожаровзрывоопасных веществ и материалов и др.;

- большое число различных защитных мероприятий. При проведении количественной оценки пожарного риска следует учитывать наличие различных систем, обеспечивающих пожарную безопасность и снижение уровня пожарного риска данного объекта;

- особенности системы эвакуации на платформе при высокой численности персонала, у которого, как рабочие места, так и жилые помещения, расположены на пожаровзрывоопасном объекте.

При проведении расчетов были использованы подходы, изложенные в действующей Методике.

При проведении оценки пожарного риска для МСП определенный интерес представляет подход, когда устанавливаются не только предельно допустимые значения риска для людей, но и критерий допустимого пожарного риска, основанный на частоте потери основной функции обеспечения безопасности платформы, как это осуществляется, в частности, в Норвегии. Предельное значение частоты потерь установленных основных функций безопасности

регламентируется в норвежском стандарте *NORSOK Z-013*, согласно которому это значение должно составлять $\leq 10^{-4}$ год⁻¹ на функцию безопасности и вид аварии, или общий критерий $\leq 5 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹ по всем видам аварий.

На основе изложенного выше, в работе сформулирован новый критерий оценки пожарной опасности, применимый не только для платформ, но и для других особо опасных и технически сложных объектов. Данный критерий заключается в регламентировании частоты потери основных функций обеспечения безопасности. Этот критерий представляется особенно актуальным для МСП, но может быть использован и для любого другого особо опасного и технически сложного производственного объекта, на котором кроме задачи спасения жизни людей в случае критических аварийных ситуаций существует также задача сохранения самого объекта и его основных функций во избежание возникновения значительного материального ущерба и развития аварийной ситуации до экологической катастрофы межгосударственного масштаба.

Для МСП в качестве потерь основных функций обеспечения безопасности могут рассматриваться:

- блокирование эвакуационных путей за пределами зоны возникновения пожара до завершения эвакуации людей во временное убежище;

- повреждение средств покидания или временного убежища платформы в течение времени, необходимого для эвакуации персонала во временное убежище и принятия решения о покидании платформы;

- распространение пожара за пределы зоны его возникновения (например, за пределы технологической зоны) в течение времени необходимого для эвакуации и покидания платформы;

- потеря устойчивости платформы или структурной целостности основных несущих конструкций.

Наибольшую пожаровзрывоопасность среди модулей верхнего строения рассматриваемой МСП представляют технологический модуль, содержащий основное оборудование (многофункциональные манифольды, замерную систему, сепараторы различного назначения, систему компримирования газа и др.), а также буровой модуль, характеризующийся опасностью выброса нефти и/или газа в помещение модуля и возможным воспламенением углеводородов. Учитывая актуальность для России освоения арктического шельфа, предполагается, что на рассматриваемой платформе большая часть пожароопасного технологического оборудования размещается внутри помещений или модулей. Поэтому при оценке риска особое значение приобретает рассмотрение особенностей возникновения и развития аварий с пожарами и взрывами в помещениях.

При оценке пожарного риска рассматривались различные пожароопасные ситуации и сценарии пожара: разгерметизация технологического оборудования и поступление в окружающее пространство горючих газов и/или жидкостей; образование горючих газопаровоздушных смесей и их сгорание; пожары

На рисунке 3 представлена схема нижней палубы типовой МСП, для которой проводилась оценка пожарного риска, а результаты оценки потенциального пожарного риска для помещений нижней палубы МСП представлены в таблице 1.

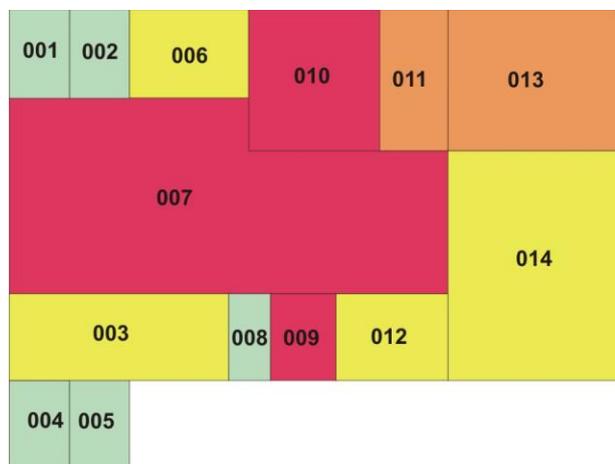


Рисунок 3 – Схема размещения и экспликация помещений нижней палубы МСП:
 001, 002, 004, 005 – помещения пожарных насосов;
 007, 010 – помещения вспомогательного оборудования; 006 – помещение генераторов;
 003 – помещение эксплуатационного склада;
 008 – помещение аварийного генератора; 009 – помещение ингибиторов коррозии, солеотложения и гидратообразования; 012 – помещение насосов пластовой продукции; 011 – помещение оборудования системы закачки бурового шлама;
 013 – помещение устьевого оборудования;
 014 – помещение эксплуатационных манифольдов

Таблица 1 – Результаты расчетов величин потенциального пожарного риска для помещений нижней палубы МСП

Наименование помещений (номер помещения в соответствии с экспликацией)	Величина потенциального пожарного риска, год ⁻¹
Пожарных насосов (001, 002, 004, 005)	$6,8 \cdot 10^{-6}$
Вспомогательного оборудования (007, 010)	$2,5 \cdot 10^{-4}$
Генераторов (006)	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Эксплуатационного склада (003)	$3,8 \cdot 10^{-5}$
Аварийного генератора (008)	$6,5 \cdot 10^{-6}$
Ингибиторов коррозии, солеотложения и гидратообразования (009)	$2,5 \cdot 10^{-4}$
Насосов перекачки пластовой продукции (012)	$4,3 \cdot 10^{-5}$
Оборудования системы закачки бурового шлама (011)	$1,6 \cdot 10^{-4}$
Устьевого оборудования (013)	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Эксплуатационных манифольдов (014)	$2,9 \cdot 10^{-5}$

Особенности пожарной опасности МСП при оценке пожарного риска были учтены следующим образом:

- рассмотрено более 90 помещений (на четырех палубах производственной зоны и шести уровнях жилого модуля), которых определен перечень возможных пожароопасных ситуаций и пожаров;
- проведена оценка частот реализации пожароопасных ситуаций и условных вероятностей реализации различных сценариев развития пожара;
- персонал платформы был разделен на следующие категории: операторы,

технический персонал, персонал буровой, административный персонал и персонал жилого модуля;

– определены условные вероятности поражения людей, находящихся в пределах участка возникновения пожароопасной ситуации и соответствующие значения потенциального пожарного риска;

– определены значения потенциального и индивидуального пожарного рисков.

При проведении расчетов пожарного риска оценивался вклад в величину потенциального пожарного риска аварийных ситуаций, связанных с эскалацией пожара. В качестве таких аварийных ситуаций рассматривались выбросы из скважин, связанные с истечением по полному сечению. В случае реализации таких выбросов возникающий при воспламенении истекающих продуктов пожар может привести к большому числу человеческих жертв и гибели платформы. Частота возникновения указанных пожаров определялась исходя из следующих предпосылок. Принималось, что приводящий к гибели платформы пожар реализуется при одновременном выполнении следующих условий: реализация выброса, связанного с истечением из скважины по полному сечению, воспламенение, отказ систем перекрытия скважин. Для данного сценария определено значение потенциального пожарного риска, которое составило $1,6 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹. Эта величина при определении итогового значения потенциального пожарного риска в помещениях МСП принималась в качестве фонового значения, определяющего вклад пожаров, связанных с эскалацией, приводящей к гибели платформы.

В таблице 2 представлены результаты расчетов величин индивидуального пожарного риска для персонала МСП, в зависимости от их категории.

Таблица 2 – Величина индивидуального пожарного риска для персонала МСП в зависимости от их категории

Категория персонала	Величина индивидуального пожарного риска, год ⁻¹
Операторы	$4,5 \cdot 10^{-5}$
Технический персонал	$3,1 \cdot 10^{-5}$
Буровой персонал	$4,0 \cdot 10^{-5}$
Административный персонал	$8,4 \cdot 10^{-6}$
Персонал жилого модуля	$6,5 \cdot 10^{-6}$

Анализируя результаты расчетов, следует отметить, что полученные значения индивидуального риска для всех категорий персонала платформы не превышают предельно допустимое нормативное значение индивидуального риска для персонала производственного объекта, установленное Федеральным законом. При этом, наименьшей опасности на платформе подвержен административный персонал, а также персонал жилого модуля, что связано с наименьшей вероятностью присутствия данных категорий персонала

во взрывопожароопасных помещениях бурового и технологического модулей МСП, обладающих наибольшим уровнем потенциального пожарного риска.

Таким образом, с помощью оценки пожарного риска, выявлены наиболее опасные участки МСП, на которых возможно возникновение ситуаций, вносящих наибольший вклад в суммарный риск. На рисунке 4 выделены красным цветом помещения нижней палубы МСП с наибольшим значением потенциального пожарного риска. Определение наиболее пожароопасных участков на МСП позволяет распределить средства защиты и принять соответствующие меры. Например, обеспечить опасный участок или элемент адекватной защитой, позволяющей снизить риск до приемлемого уровня.

Также в третьей главе рассмотрены методы и способы обеспечения пожарной безопасности морской стационарной нефтегазодобывающей платформы, проведен анализ существующих методов и способов обеспечения пожарной безопасности, в том числе рассмотрена методология разработки и применения барьеров пожарной безопасности для МСП.

Снижение уровня пожарного риска осуществляется за счет проведения системного анализа причин и условий развития аварий на платформах, прогнозирования их последствий и разработки, так называемых, барьеров безопасности. Под барьерами безопасности в данном контексте понимаются организационные и инженерно-технические решения, с помощью которых возможно предотвращение возникновения аварийной ситуации, ограничение распространения опасных факторов пожара и взрыва и, тем самым, снижение вероятности развития аварийной ситуации по эскалационному сценарию, а также снижение тяжести последствий аварийной ситуации. При разработке барьеров безопасности представляется целесообразным применение методов логического анализа. Среди множества существующих методов (например, деревья отказов и деревья событий) для разработки барьеров безопасности наиболее подходящим является метод анализа диаграмм «галстук-бабочка». Этот метод представляет собой схематический способ описания и анализа путей развития опасного события от причин до последствий.

При разработке барьеров безопасности следует учитывать их особенности и характеристики. По своему назначению барьеры безопасности можно разделить на:

- барьеры, направленные на предотвращение возникновения опасного события;
- барьеры, направленные на предотвращение проявления нежелательных последствий возникшего опасного события или снижения их тяжести.

В зависимости от непосредственного участия человека барьеры безопасности можно разделить на:

- организационные (мероприятия, для реализации которых требуется участие персонала объекта);
- технические (мероприятия, которые могут предотвратить нежелательное событие или снизить тяжесть его последствий без непосредственного участия

персонала).

При определении достаточной надежности барьеров одним из наиболее важных факторов является их целостность. По аналогии с моделью накопления ошибок, предложенной Джеймсом Ризоном и получившей более известное название «модель швейцарского сыра», наиболее эффективное снижение пожарного риска достигается при максимальной целостности барьеров безопасности (отсутствии «дырок в ломтиках сыра»). Целостность барьеров описывается результатом технических, эксплуатационных и организационных условий. Если целостность одного барьера нарушена, в результате чего барьер не может препятствовать развитию аварии, то систему барьеров следует проектировать по принципу эшелонирования, выстраивая на пути развития аварийной ситуации (на пути распространения опасных факторов пожара и др.) несколько барьеров. С увеличением числа применяемых барьеров вероятность развития аварийной ситуации по неблагоприятному сценарию снижается и, тем самым, снижается общий уровень пожарного риска.

В работе приведен пример применения барьеров пожарной безопасности при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности МСП.

На рисунке 4 представлен фрагмент диаграммы «галстук-бабочка», описывающий аварийную ситуацию, связанную со сгоранием накопленных ГГ и паров ЛВЖ в закрытом модуле МСП.

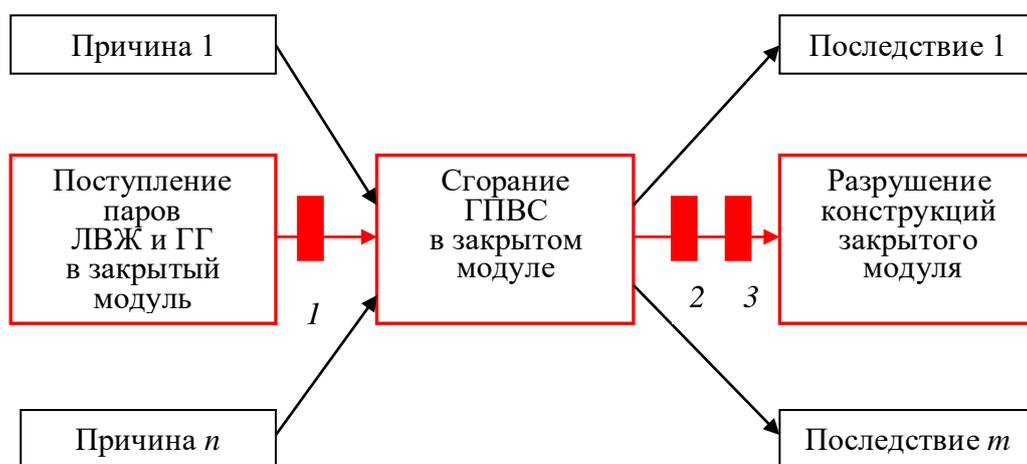


Рисунок 4 – Фрагмент диаграммы «галстук-бабочка», описывающий аварийную ситуацию, связанную со сгоранием накопленных ГГ и паров ЛВЖ в закрытом модуле МСП:

1 – барьер безопасности в виде системы предупредительной газовой флегматизации объема закрытого модуля; 2 – барьер безопасности в виде системы взрывоподавления в закрытом модуле; 3 – барьер безопасности в виде наружных ограждающих легкообрасываемых конструкций

Для предотвращения возникновения опасного события (сгорание ГПВС в закрытом модуле), а также снижения тяжести последствий наступления этого события, рассматривается вариант применения трех различных барьеров безопасности. Одним из эффективных мероприятий, снижающих взрывные

нагрузки до безопасного уровня, является устройство в наружном ограждении пожаровзрывоопасного помещения сбросных проемов, оборудованных специальными легкобрасываемыми конструкциями (ЛСК). Наличие ЛСК в помещениях категорий А и Б по взрывопожарной и пожарной опасности регламентируется нормативными документами. Однако для ряда помещений, расположенных внутри платформы, граничащих со всех сторон с другими помещениями различного функционального назначения, применение данного мероприятия технически невозможно. Известны также активные методы обеспечения пожаровзрывобезопасности, к которым относится система взрывоподавления. Принцип действия этой системы заключается в быстром введении в защищаемый объем взрывоподавляющего огнетушащего вещества, останавливающего дальнейший процесс развития взрыва. В качестве альтернативного барьера, направленного на предотвращение возникновения этого события, в данном случае может быть использована система газовой флегматизации ГПВС. Дополнительным преимуществом использования системы флегматизации для обеспечения пожаровзрывобезопасности закрытых технологических модулей МСП является возможность совмещения функций пожаротушения и флегматизации в автоматических установках газового пожаротушения (АУГП), защищающих помещения закрытых модулей. В таком случае реализуется следующий принцип действия системы:

- при образовании ГПВС внутри модуля и превышении концентрации взрывоопасных веществ выше установленного порогового значения срабатывает датчик дозврывоопасных концентраций и в объем модуля подается флегма-тизатор – газообразное огнетушащее вещество (ГОТВ) с заданными расходными характеристиками;

- при возникновении пожара, не связанного с горением ГПВС, срабатывают пожарные извещатели автоматической установки пожарной сигнализации (АУПС) и происходит запуск АУГП, которая подает ГОТВ в защищаемое пространство.

Таким образом, предлагаемая система служит как для предотвращения пожара, так и для его тушения, с помощью подачи одного и того же вещества в защищаемый объем, но с разными параметрами, в первом случае обеспечивающими достижение минимальной флегматизирующей концентрации, во втором – нормативной огнетушащей концентрации. При этом затраты на организацию АУГП с дополнительной функцией флегматизации существенно ниже, чем установка дополнительного оборудования системы взрывоподавления. Это играет немаловажную роль при выборе барьера безопасности для защиты рассматриваемых модулей.

В настоящее время в России отсутствуют нормативные документы, регламентирующие требования к устройству систем флегматизации. Вследствие этого особый интерес представляет определение параметров системы флегматизации, функционирующей при использовании АУГП, обеспечивающих проходную способность для массы флегматизирующего

вещества, необходимой для создания минимальной флегматизирующей и огнетушащей концентрации в защищаемых объемах. В работе проведена оценка обеспечения условий флегматизации в закрытых помещениях МСП на примере морской ледостойкой стационарной платформы (МЛСП) «Приразломная». За основу в расчетах принята модель «мгновенного» и равномерного перемешивания подаваемого огнетушащего/флегматизирующего вещества с атмосферой в защищаемом помещении. При этом, дифференциальное уравнение газового обмена в помещении в соответствии с данными литературных источников можно записать в виде:

$$V \frac{dC}{dt} = J - (J + J_1)C, \quad (12)$$

где V – объем помещения, м³; C – текущее значение концентрации газа в помещении, мольная доля; t – время, с; J – интенсивность подачи газа, м³/с; J_1 – объемный расход воздуха, попадающего или выходящего из помещения за счет работы принудительной вентиляции или аэрации под действием ветрового или теплового напоров, а также за счет разности плотностей газового состава и воздуха, м³/с.

Предельное значение объемного расхода горючего газа или пара испаряющейся горючей жидкости определяется по формуле:

$$J_{ГГ} = -\frac{V}{t_3} \ln(1 - C_{ГГ}), \quad (13)$$

где $J_{ГГ}$ – объемный расход поступающего в помещение горючего газа или пара горючей жидкости, м³/с; V – объем помещения, м³; t_3 – заданное время поступления газа или пара, с; $C_{ГГ}$ – предельное значение концентрации горючего газа или пара горючей жидкости, равное нижнему концентрационному пределу распространения пламени газа или пара, мольная доля.

Объемный расход флегматизирующего газа можно определить по формуле:

$$J_{\Phi} = -\frac{V}{t_{\Phi}} \ln(1 - C_{\Phi}), \quad (14)$$

где J_{Φ} – объемный расход флегматизатора м³/с; C_{Φ} – флегматизирующая концентрация флегматизатора, мольная доля; t_{Φ} – время подачи флегматизатора, с.

Формула (13) позволяет определить предельные значения расходов поступающих в помещение горючих газов и паров, при которых горючая газопаровоздушная смесь может быть зафлегматизирована расчетным количеством флегматизатора, определяемым по формуле (14). Критерием обеспечения условий флегматизации газопаровоздушных смесей является неперевышение расходных характеристик газа или пара горючей жидкости,

поступающих в объем защищаемого помещения из разгерметизированного оборудования, предельных значений. В работе проведен расчет для некоторых технологических помещений МЛСП «Приразломная».

На основе проведенной оценки пожарной опасности, а также с учетом изложенных подходов к обеспечению пожарной безопасности разработан комплекс наиболее важных требований к системе обеспечения пожарной безопасности (СОПБ) МСП.

Одним из специфических организационных процессов в случае аварийной ситуации на МСП является процесс эвакуации персонала. Для обеспечения безопасной эвакуации людей на МСП должны быть:

- установлены необходимое количество, размеры и соответствующее конструктивное исполнение эвакуационных путей и выходов;
- обеспечена защита от воздействия опасных факторов пожара, а также беспрепятственное движение людей по эвакуационным путям и выходам;
- организованы оповещение и управление движением людей по эвакуационным путям, в том числе с использованием световых указателей, звукового и речевого оповещения.

Для безопасного сбора персонала при возникновении пожароопасной аварийной ситуации или пожара на МСП должно быть предусмотрено как минимум одно временное убежище (ВУ), являющееся безопасной зоной. Во ВУ персонал может собираться и находиться в течение времени, необходимого для того, чтобы пожар был ликвидирован, или до окончания покидания персоналом платформы, но не менее 2 ч. Временное убежище следует оборудовать необходимыми системами жизнеобеспечения. Вместимость ВУ должна быть рассчитана на максимальное количество постоянно присутствующего и временного персонала на платформе.

Ниже представлен перечень наиболее важных требований к СОПБ МСП.

Требования к зонированию и объемно-планировочным решениям МСП, обеспечению эвакуации персонала:

- обеспечение для стены жилого модуля, обращенной в сторону буровых и технологических установок, предела огнестойкости не ниже REI 120.
- наличие на платформе временного убежища, являющегося безопасной зоной, где персонал может собираться и находиться в течение времени, необходимого для того, чтобы пожар был ликвидирован, или до окончания покидания персоналом платформы, но не менее 2 ч.

Требования ПБ к технологическому оборудованию, системам противоаварийной защиты, факельным и дренажным системам, электрооборудованию, системам отопления, вентиляции, системе обнаружения утечек горючих газов и паров:

- оснащение каждой скважины дистанционно управляемым скважинным клапаном-отсекателем и поверхностными отсечными клапанами аварийного отключения;
- оборудование МСП системой аварийного отключения, которая должна

обеспечивать перевод технологического оборудования в безопасное состояние при возникновении аварийной ситуации;

– датчики дозврывоопасных концентраций устанавливаются в помещениях и на открытых площадках платформы, имеющих взрывоопасные зоны, на участках размещения резервуаров опасных стоков, а также в воздухозаборниках систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Требования к системам пожарной сигнализации, оповещения о пожаре и управления эвакуацией, системам противопожарного водоснабжения, пожаротушения и водяного орошения:

– основные и резервный пожарные насосы устанавливаются на разных участках платформы или разделены противопожарными преградами с пределом огнестойкости не менее REI 120, чтобы в случае аварии или пожара исключить возможность одновременного выхода из строя всех пожарных насосов;

– автоматическими установками пожаротушения защищаются помещения категорий А, Б, В1 (независимо от площади), для размещения генераторов и пожарных насосов с приводом от двигателей, работающих на жидком топливе, с электротехническим оборудованием (трансформаторные, распределительные устройства, шкафы управления) без постоянных рабочих мест;

– для предотвращения увеличения масштаба аварии при пожаре предусматриваются установки водяного орошения для производственных зон, участка устьевого оборудования, фонтанного устьевого оборудования. Расчетную продолжительность орошения следует принимать не менее 3 ч.

Четвертая глава диссертационной работы посвящена вопросам обеспечения пожарной безопасности магистральных трубопроводов, которые являются одной из основных частей системы сбора и транспортировки нефти, газа и сопутствующих продуктов.

Как видно из проведенного в работе обзора типовых аварий на российских магистральных трубопроводах, транспортирующих нефть и газ, аварии с пожарами на таких объектах могут иметь затяжной характер и представлять серьезную опасность для объектов, расположенных вблизи магистрального трубопровода, а также приводить к тяжелым экологическим и материальным последствиям. Ситуация усугубляется тем, что в результате развития градостроительной деятельности некоторые участки и объекты магистральных трубопроводов оказались в черте населенных пунктов, а в некоторых случаях и на расстояниях до соседних объектов, менее нормативных. Дополнительными факторами, повышающими пожарную опасность такого рода объектов, являются изношенность и старение систем магистрального трубопроводного транспорта. Все это обуславливает необходимость проведения реконструкции таких объектов, направленной, в том числе, и на повышение уровня пожарной безопасности за счет применения современных технологий в области противоаварийной и противопожарной защиты, замены изношенного оборудования на новое, строительство новых трубопроводов и т.п. При этом

наиболее сложным вопросом является определение достаточного и наиболее рационального комплекса мероприятий по обеспечению требуемого уровня пожарной безопасности таких объектов. Решение указанной проблемы требует наличия методов оценки пожарной опасности магистральных трубопроводов, позволяющих учитывать особенности конкретного объекта и влияния различных применяемых мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

В четвертой главе представлен краткий обзор существующих в России методов оценки риска для линейной части магистральных трубопроводов и представлена методика определения расчетных значений пожарного риска для линейной части магистральных трубопроводов. Данная методика включает в себя данные для определения частот разгерметизации магистрального трубопровода, оценку влияния различных факторов на частоту разгерметизации трубопровода.

Ниже представлены основные расчетные зависимости, заложенные в методику определения расчетных значений пожарного риска для линейной части магистральных трубопроводов.

Частота разгерметизации на каждом участке трубопровода m для заданного размера повреждения рассчитывается по формуле:

$$\lambda_j(m) = \lambda_{\sigma} \cdot \sum_{i=1}^6 f_{ij}(m) / 100, \quad (15)$$

где $\lambda_j(m)$ – частота разгерметизации для j -го размера повреждений на участке m трубопровода; f_{ij} – относительная доля аварий для j -го размера повреждений по i -ой причине на участке m трубопровода; i – количество причин разрушения; j – количество размеров повреждений.

Частота разгерметизации трубопровода по причине внешнего воздействия рассчитывается по формуле:

$$f_{\text{вв}} = f_{\text{бвв}} \cdot k_{\text{тс}} \cdot k_{\text{зг}}, \quad (16)$$

где $f_{\text{вв}}$ – частота разгерметизации трубопровода по причине внешнего воздействия; $f_{\text{бвв}}$ – базовая частота разгерметизации трубопровода по причине внешнего воздействия; $k_{\text{тс}}$ – поправочный коэффициент (фактор влияния) частоты разгерметизации трубопровода по причине внешнего воздействия, учитывающий влияние толщины стенки трубопровода; $k_{\text{зг}}$ – поправочный коэффициент (фактор влияния) частоты разгерметизации трубопровода по причине внешнего воздействия, учитывающий влияние толщины слоя грунта над трубопроводом.

Частота разгерметизации трубопровода по причине коррозии рассчитывается по формуле:

$$f_{\text{к}} = f_{\text{бк}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{\text{зп}}, \quad (17)$$

где f_k – частота разгерметизации трубопровода по причине коррозии, $f_{бк}$ – базовая частота разгерметизации трубопровода по причине коррозии, $k_{п}$ – поправочный коэффициент частоты разгерметизации трубопровода по причине коррозии, учитывающий влияние толщины стенки, $k_{зп}$ – поправочный коэффициент частоты разгерметизации трубопровода по причине коррозии, учитывающий использование систем противокоррозионной защиты.

Зависимость частоты повреждений по причине ошибки оператора от диаметра трубопровода может быть описана следующим регрессионным соотношением:

$$f_{oo} = 0,06617e^{-0,10143D} \quad (18)$$

где f_{oo} – частота отказов на 1000 км в год, произошедших по причине ошибки оператора; D – диаметр трубопровода в дюймах.

Итоговая частота разгерметизации на каждом участке трубопровода для заданного диаметра эквивалентного отверстия рассчитывается по формуле:

$$F_j(m) = \sum_{i=1}^s f_{ij}(m), \quad (19)$$

где $F_j(m)$ – частота разгерметизации для j -го размера повреждений на участке m трубопровода; f_{ij} – частота разгерметизации для j -го размера повреждений по i -ой причине на участке m трубопровода; i – количество причин разрушения ($s_{\max} = 6$); j – количество размеров повреждений ($j = 3$).

Для определения возможных сценариев возникновения и развития пожаров для магистральных трубопроводов целесообразно использовать метод логических деревьев событий, при этом учитывая следующие виды аварий:

- факел (мгновенное воспламенение утечки);
- пожар-вспышка (воспламенение с задержкой);
- взрыв (воспламенение с задержкой);
- пожар пролива (задержанное воспламенение при истечении жидкой фазы после пожара вспышки и взрыва).

Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития осуществляется на основе сопоставления результатов моделирования динамики опасных факторов пожара на территории объекта и прилегающей к нему территории с данными о критических для жизни и здоровья людей значениях опасных факторов пожара, взрыва. Для этого используются критерии поражения людей опасными факторами пожара, регламентированные действующей Методикой.

По результатам расчета полей поражающих факторов на основе пробит-функций определяются поля условных вероятностей поражения $Q_{пор}(x,r)$ для каждого из видов аварий и диаметров утечек (x – расстояния по оси трубы, r – расстояния от оси трубы до данной точки в пространстве).

При расчете потенциального риска необходимо учитывать специфику магистрального трубопровода как линейного источника пожарной опасности

при авариях. Для линейного источника частоты реализации сценариев аварий нормируются на единицу длины. Величина потенциального риска $P(r)$ (год⁻¹) в определенной точке, отстоящей по перпендикуляру от оси трубопровода на расстоянии r , определяется по формуле:

$$P_i = \sum_{j=1}^k F_j(m) Q_{услиj} \int_{x_{1j}}^{x_{2j}} Q_{порij}(x, r) dx, \quad (20)$$

где $F_j(m)$ – частота разгерметизации трубопровода на 1 м длины для j -го диаметра утечки на участке m трубопровода; $Q_{услиj}$ – условная вероятность реализации i -го вида аварии для j -го диаметра утечки; $Q_{порij}(x, r)$ – условная вероятность поражения человека в рассматриваемой точке на расстоянии r от оси трубопровода в результате реализации i -го вида аварии, произошедшей на участке трубопровода с координатой x , расположенной в пределах участка влияния i -го вида аварии, для j -го диаметра утечки; x_{1j} , x_{2j} – координаты начала и окончания участка влияния.

Границы участка влияния определяются для i -го вида аварии из условия, что зона поражения при аварии на трубопроводе за пределами этого участка не достигает рассматриваемой точки на расстоянии r от оси трубопровода.

Затем вычисляется для каждого r полное значение потенциального риска $P(r)$ для всех видов аварий:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i \quad (21)$$

Были проведены расчеты типовых примеров с использованием разработанной методики определения расчетных значений пожарного риска для линейной части магистральных трубопроводов. Вместе с тем, в силу большого объема реализации предлагаемых подходов к определению расчетных значений пожарного риска для линейной части магистральных трубопроводов, подробно в диссертационной работе приведена только для одного примера.

На основе положений нормативных правовых актов, нормативных документов по пожарной безопасности и технической документации по объекту разработан комплекс мероприятий по пожарной безопасности для конкретных объектов.

Разработанный комплекс кроме основных требований содержит также и специфические требования к участкам нефтепровода, проходящим по территории населенных пунктов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В настоящей работе предложена новая методика определения расчетных величин пожарного риска для производственных объектов нефтегазового комплекса, в которой:

- введен метод логических деревьев событий при рассмотрении различных сценариев пожара в зданиях (помещениях);

- усовершенствованы подходы к учету влияния мероприятий по противопожарной защите;

- предлагается использование усовершенствованных критериев поражения человека опасными факторами пожара;

- применен учет вероятностного характера времени эвакуации и время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара;

- возможно проведение расчетов для линейной части магистральных трубопроводов.

2. Проведена оценка риска для производственных объектов следующих нефтегазового комплекса:

- уникальных производственных объектов, таких, как производственное здание корпуса твердофазной поликонденсации полиэтилентерефталата высотой более 100 м и склад готовой продукции большой площадью;

- типовой морской стационарной нефтегазодобывающей платформы. Определен вклад в величину потенциального пожарного риска эскалационных сценариев развития аварий;

- складов СУГ, ЛВЖ и ГЖ, расположенных в особых условиях в черте населенных пунктов;

- линейной части магистральных нефтепроводов и продуктопроводов, транспортирующих нефть и ШФЛУ соответственно.

3. Проанализированы существующие критерии допустимого пожарного риска и представлено обоснование необходимости использования дополнительного критерия допустимого пожарного риска – частоты потери основной функции обеспечения безопасности МСП.

4. Проанализировано использование различных методов логического анализа при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности. Показано, на примере МСП, что посредством методологии барьеров безопасности возможно определение эффективности и оптимальности применяемых мероприятий по обеспечению требуемого уровня пожарной безопасности объекта. Рассмотрен пример технического барьера безопасности – устройства автоматической системы газового пожаротушения с дополнительной функцией газовой флегматизации ГПВС для взрывопреупреждения в помещениях МСП.

5. На основе проведенных исследований и с учетом предложенных подходов разработан комплекс научно-обоснованных требований к системам

предотвращения пожара и противопожарной защиты особо опасных объектов нефтегазового комплекса, таких как типовая морская стационарная нефтегазодобывающая платформа, склады СУГ, ЛВЖ и ГЖ, расположенные в особых условиях в черте населенных пунктов, линейная часть магистральных нефтепроводов и продуктопроводов, транспортирующих нефть и ШФЛУ соответственно.

6. Результаты работы нашли практическое применение при разработке нормативных правовых актов, нормативных документов по пожарной безопасности, объектов нефтегазового комплекса.

7. Комплекс проведенных исследований может быть квалифицирован как решение крупной народнохозяйственной проблемы – методологическое обеспечение пожарной безопасности особо опасных и технически сложных производственных объектов нефтегазового комплекса.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих ведущих периодических изданиях из перечня ВАК:

1. Шебеко, Ю.Н. Оценка риска поражения токсичными продуктами горения при пожарах на наружных технологических установках / Ю.Н. Шебеко, Д.М. Гордиенко // Пожаровзрывобезопасность. – 1998. – т. 7. – № 2. – С. 44-49.

2. Шебеко, Ю.Н. Анализ индивидуального риска пожаров и взрывов для автозаправочной станции с наземным резервуаром / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 1998. – т. 7. – № 4. – С. 31-38.

3. Шебеко, Ю.Н. Оценка материального риска пожаров и взрывов для наружных технологических установок / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 1999. – т. 8. – № 5. – С. 54-62.

4. Шебеко, Ю. Н. Оценка индивидуального и социального риска пожаров и взрывов для многотопливной автозаправочной станции / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 1999. – т. 8. – № 6. – С. 42-47.

5. Шебеко, Ю. Н. Оценка пожарного риска для зданий, расположенных на территории автозаправочных станций / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2000. – т. 9. – № 5. – С. 19-24.

6. Болодьян, И.А. Пожаровзрывобезопасность объектов хранения сжиженного природного газа. Анализ состояния проблемы / И.А. Болодьян [и др.] // Пожарная безопасность. – 2000. – № 2. – С. 86-96.

7. Болодьян И. А. Пожаровзрывобезопасность объектов хранения сжиженного природного газа. Анализ возможных аварий и пожаров на изотермическом резервуаре / И.А. Болодьян // Пожарная безопасность. – 2000. – № 3. – С. 43-50.

8. Болодьян, И. А. Пожаровзрывобезопасность объектов хранения сжиженного природного газа. Процессы испарения и формирования пожаровзрывоопасных облаков при проливе жидкого метана. Методики оценки параметров / И.А. Болодьян [и др.] // Пожарная безопасность. – 2000. – № 4. – С. 108-121.

9. Шебеко, Ю.Н. Факторы, влияющие на расчетную величину пожарного риска для АЗС / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2000. – т. 9. – № 4. – С. 22-26.
10. Шебеко, Ю.Н. Оценка пожарного риска для зданий, расположенных на территории автозаправочных станций / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2000. – т. 9. – № 5. – С. 19-24.
11. Болодьян, И. А. Пожаровзрывобезопасность многотопливных автозаправочных станций / И.А. Болодьян [и др.] // Пожарная безопасность. – 2001. – № 1. – С. 31-52.
12. Болодьян, И.А. Пожаровзрывобезопасность объектов хранения сжиженного природного газа. Расчет поражающих факторов при авариях на изотермическом резервуаре / И.А. Болодьян [и др.] // Пожарная безопасность. – 2001. – № 1. – С. 59-66.
13. Болодьян, И. А. Пожаровзрывобезопасность объектов хранения сжиженного природного газа. Основные требования пожарной безопасности к изотермическому хранилищу СПГ / И.А. Болодьян [и др.] // Пожарная безопасность. – 2001. – № 2. – С. 68-84.
14. Болодьян, И.А. Пожаровзрывобезопасность объектов хранения сжиженного природного газа. Основные требования пожарной безопасности к изотермическому хранилищу СПГ/ И.А. Болодьян [и др.] // Пожарная безопасность. – 2001. – № 2. – С. 68-84.
15. Гордиенко, Д.М. Исследование пожарного риска для традиционной автозаправочной станции / Д.М. Гордиенко // Пожарная безопасность. – 2001. – № 4. – С. 107-112.
16. Болодьян, И.А. Оценка пожарного риска для морской стационарной нефтедобывающей платформы / И.А. Болодьян [и др.] // Пожарная безопасность. – 2002. – №4. – С. 80-88.
17. Шебеко, Ю. Н. Оценка пожарного риска для берегового перевалочного комплекса аммиака / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2004. – №3. – С. 45-51.
18. Шебеко, Ю.Н. Оценка пожарного риска для крупномасштабного терминала отгрузки нефти / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2005. – №1. – С. 40-49.
19. Шебеко, Ю.Н. Оценка пожарного риска для буровой площадки с комплексом первичной подготовки нефти и газа / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2005. – №3. – С. 14-21.
20. Шебеко, Ю. Н. Оценка потенциального пожарного риска для топливозаправочного пункта, применяющего для заправки диметиловый эфир / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2005. – №6. – С. 28-35.
21. Шебеко, Ю.Н. Экспресс-методы определения условной вероятности поражения человека тепловым излучением при пожарах на наружных технологических установках/ Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2006. – №5. – С. 73-79.

22. Шебеко, Ю.Н. Оценка влияния на пожарную опасность транспортных эстакад расположенных вблизи них автозаправочных станций / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2007. – №2. – С. 72-81.

23. Шебеко, Ю.Н. Оценка пожарной безопасности нефтебазы при возникновении в условиях городской застройки отступлений от требований пожарной безопасности / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2007. – №4. – С. 22-28.

24. Болодьян, И.А. Особенности оценки пожарного риска морских нефтегазодобывающих платформ / И.А. Болодьян [и др.] // Пожарная безопасность. – 2007. – №4. – С. 11-21.

25. Шебеко, Ю.Н. Оценка пожарной безопасности нефтебазы при возникновении в условиях городской застройки отступлений от требований пожарной безопасности / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2007. – №4. – С. 22-28.

26. Шебеко, Ю.Н. Исследование процесса эвакуации людей при пожаре с этажерки технологической линии газоперерабатывающего завода / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2008. – №1. – С. 83-88.

27. Шебеко, Ю.Н. Особенности оценки пожарного риска для сложных и уникальных сооружений / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2009. – №1. – С. 39-44.

28. Демехин, Ф.В. Моделирование возникновения и развития пожаров и способы их обнаружения на объектах нефтепереработки / Ф.В. Демехин, Д.М. Гордиенко // Пожарная безопасность. – 2009. – №1. – С. 61-66.

29. Шебеко, Ю.Н. Обеспечение пожарной безопасности резервуарного парка хранения нефтепродуктов, расположенного вблизи жилых и общественных зданий / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2009. – №2. – С. 33-41.

30. Гордиенко, Д.М. Данные о частотах возникновения пожаров и пожароопасных ситуаций, в общественных зданиях различного назначения и на производственных объектах / Д.М. Гордиенко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2009. – №2. – С. 42-46.

31. Шебеко, Ю.Н. Обеспечение пожарной безопасности товарно-сырьевого склада сжиженного углеводородного газа, расположенного в черте населенного пункта / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2009. – №3. – С. 64-71.

32. Дешевых, Ю.И. К вопросу об оценке пожарного риска для магистральных трубопроводов / Ю.И. Дешевых [и др.] // Трубопроводный транспорт. – 2010. – №2 (18). – С. 24-28.

33. Шебеко, Ю.Н. Оценка пожарного риска линейной части магистральных трубопроводов / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2010. – №4. – С. 47-58.

34. Шебеко, Ю.Н. Оценка эскалации пожара в производственных зданиях и сооружениях / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2010. – №4. – С. 64-69.

35. Шебеко, Ю.Н. Оценка влияния автоматических установок пожаротушения на величину пожарного риска для производственных объектов / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2011. – №1. – С. 72-83.

36. Шебеко, Ю.Н. Учет автоматических установок пожаротушения при проведении расчетов по оценке пожарного риска на производственных объектах / А.Ю. Шебеко [и др.] // Проблемы анализа риска. – том 8. – 2011. – № 3. – С. 28-40.

37. Шебеко, Ю.Н. Совершенствование методов определения расчетных величин пожарного риска для производственных объектов / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2011. – №3. – С. 57-65.

38. Шебеко, Ю.Н. Расчет социального пожарного риска для производственных объектов / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2011. – №4. – С. 94-96.

39. Навценя, В.Ю. Пожаровзрывобезопасность производственных объектов и транспортных систем / В.Ю. Навценя [и др.] // Пожарная безопасность. – 2012. – №2. – С. 65-78.

40. Шебеко, Ю.Н. О некоторых вопросах, затронутых в дискуссии А. И. Эльнатанова и Е. Ю. Колесникова в разделе «Дискуссионный клуб» журнала «Проблемы анализа риска» (№ 3, 2011 г., стр. 68—69) / Ю.Н. Шебеко, Д.М. Гордиенко // Проблемы анализа риска. – том 9. – 2012. – № 3. – С. 90-91.

41. Шебеко, Ю.Н. Особенности определения расчетных величин индивидуального пожарного риска для зданий химической промышленности (на примере цеха гранулированной серы) / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2012. – №3. – С. 71-76.

42. Шебеко, А.Ю. Требуемые пределы огнестойкости строительных конструкций высотных зданий / А.Ю. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2012. – №4. – С 31-39.

43. Гордиенко, Д.М. Критерии предельно допустимого пожарного риска для производственных объектов / Д.М. Гордиенко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2012. – №4. – С. 94-101.

44. Шебеко, А.Ю. Применение программного комплекса *FDS 5* для расчетной оценки параметров рассеивания проливов сжиженного природного газа / А.Ю. Шебеко, Ю.Н. Шебеко, Д.М. Гордиенко // Пожарная безопасность. – 2013. – №1. – С. 34-38.

45. Гилетич, А.Н. Международные стандарты в области оценки пожарного риска / А.Н. Гилетич, Ю.Н. Шебеко, Д.М. Гордиенко // Пожарная безопасность. – 2013. – №1. – С. 89-92.

46. Мордвинова, А.В. Оценка пожарного риска для морской стационарной нефтегазодобывающей платформы / А.В. Мордвинова [и др.] // Пожарная безопасность. – 2013. – №3. – С. 39-46.

47. Мордвинова, А.В. Барьеры безопасности в управлении пожарным риском для морских стационарных нефтегазодобывающих платформ / А.В. Мордвинова [и др.] // Пожарная безопасность. – 2014. – №1. – С. 36-45.
48. Гордиенко, Д.М. Расчетная оценка пожарного риска для эстакады тактового налива светлых нефтепродуктов / Д.М. Гордиенко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2014. – №2. – С. 72-82.
49. Гордиенко, Д.М. Оценка пожарного риска для уникальных производственных зданий / Д.М. Гордиенко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2014. – №3. – С. 83-92.
50. Шебеко, Ю.Н. Расчетная оценка пожарного риска перевозки сжиженных углеводородных газов автомобильным транспортом / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2014. – № 4. – С. 26-33.
51. Мордвинова, А.В. Методы управления пожарным риском морских стационарных нефтегазодобывающих платформ / А.В. Мордвинова [и др.] // Газовая промышленность. – 2014. – Спецвыпуск. – С. 30-34.
52. Шебеко, Ю.Н. Расчетная оценка эквивалентной продолжительности пожара для строительных конструкций на основе моделирования пожара в помещении / Ю.Н. Шебеко, А.Ю. Шебеко, Д.М. Гордиенко // Пожарная безопасность. – 2015. – № 1. – С. 31-39.
53. Гордиенко, Д.М. Особенности пожарной опасности автозаправочных станций с наличием компримированного природного газа / Д.М. Гордиенко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2015. – № 1. – С. 60-62.
54. Гордиенко, Д.М. Проблемы нормирования в области пожарной безопасности нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий / Д.М. Гордиенко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2015. – № 3. – С. 126-128.
55. Гордиенко, Д.М. Пожарная безопасность морских стационарных платформ для добычи нефти и газа на континентальном шельфе / Д.М. Гордиенко [и др.] // Инженерная защита. – 2015. – № 4. – С. 64-70.
56. Леончук, П.А. Расчетная оценка пожарного риска перевозки легковоспламеняющихся жидкостей автомобильным транспортом / П.А. Леончук [и др.] // Пожарная безопасность. – 2015. – № 4. – С. 58-69.
57. Шебеко, Ю.Н. Пожарный риск перевозки сжиженных углеводородных газов железнодорожным транспортом / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2016. – № 1. – С. 43-49.
58. Шебеко, Ю.Н. Расчет социального пожарного риска перевозки опасных грузов автомобильным и железнодорожным транспортом / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2016. – № 1. – С. 50-54.
59. Шебеко, Ю.Н. Отечественный и зарубежный опыт применения водяного орошения для противопожарной защиты технологического оборудования и строительных конструкций / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2016. – № 2. – С. 128-137.
60. Гордиенко, Д.М. Влияние функционирования технических средств противопожарной защиты производственных зданий на распространение

опасных факторов пожара и величину пожарного риска / Д.М. Гордиенко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2016. – № 3. – С. 60-76.

61. Шебеко, Ю.Н. Сравнительный анализ российских и международных нормативных документов по пожарной безопасности береговых объектов по производству и хранению сжиженного природного газа / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2016. – № 4. – С. 145-158.

62. Гордиенко, Д.М. Вопросы обеспечения пожарной безопасности при использовании альтернативных моторных топлив / Д.М. Гордиенко // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» (<http://ipb.mos.ru/ttb>) – Выпуск № 6 (70). – 2016.

63. Гордиенко, Д.М. Проблемы обеспечения пожарной безопасности объектов нефтегазодобычи в арктическом бассейне / Д.М. Гордиенко // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» (<http://ipb.mos.ru/ttb>) – Выпуск № 1 (71). – 2017.

64. Гордиенко, Д.М. В поисках универсальности / Д.М. Гордиенко // Противопожарная защита. Пожарная автоматика. Средства спасения. – 2017. – С. 100-101.

Остальные публикации по теме диссертации:

65. Коржавин, А.А. Поведение пламен, распространяющихся по пленкам жидкости на металлических подложках / А.А. Коржавин [и др.] // Физика горения и взрыва. – 1998. – т. 34. – № 3. – С. 15-18.

66. Шебеко, Ю. Н. Влияние экологических систем на уровень пожаровзрывоопасности АЗС / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Материалы Конференции «Метрологическое обеспечение, экологическая и пожарная безопасность автозаправочных комплексов» по программе по программе 5-ой международной специализированной выставке «Автозаправочный комплекс 98». – М.: 1999 г. – С. 25-32.

67. *Shebeko, Yu. N. An assessment of a fire risk for car refueling station / Yu. N. Shebeko [et all.] // Proceedings of the 8-th International Conference on Fire Science and Engineering. – 1999, vol. 2, – p. 1135-1140.*

68. Шебеко, Ю. Н. Оценка индивидуального и социального риска пожаров и взрывов для многотопливной автозаправочной станции. Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Материалы XV Всероссийской научно-практической конференции. – ч. 1. – М.: ВНИИПО, 1999. – С 22-24.

69. Болодьян, И. А. Пожарная опасность объектов изотермического хранения сжиженного природного газа. Крупные пожары: Предупреждение и тушение / И.А. Болодьян [и др.] // Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции. – ч. 1. – М.: ВНИИПО, 1999. – С 172-174.

70. Болодьян И. А. Пожарная безопасность объектов изотермического хранения сжиженного природного газа / И.А. Болодьян [и др.] // Материалы VI

Всероссийской научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: 2000. – С 31-42.

71.Болодьян И. А. Пожарная опасность многотопливных автозаправочных станций / И.А. Болодьян [и др.] // Полимергаз. – 2000. – № 2. – С. 16-19.

72. *Bolodian, I.A. An estimation of fire and explosion hazard of large tanks for liquefied natural gas / I.A. Bolodian [et all.] // Proceedings of the International conference on Fire Science and Engineering. Edinburgh. – 17-19 September 2001. – vol.2. – p 1309-1324.*

73.Болодьян, И. А. Обеспечение пожаровзрывобезопасности многотопливных автозаправочных станций (начало) / И.А. Болодьян [и др.] // Автозаправочный комплекс. – 2001. – № 2. – С. 42-47.

74. Болодьян, И. А. Обеспечение пожаровзрывобезопасности многотопливных автозаправочных станций (окончание) / И.А. Болодьян [и др.] // Автозаправочный комплекс. – 2001. – № 3. – С. 34-39.

75. Шебеко, Ю. Н. Оценка пожарного риска автозаправочных станций. Крупные пожары: Предупреждение и тушение / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции. – ч. 1. – М.: ВНИИПО, 2001. – С 15-16.

76. Болодьян, И.А. Оценка пожарного риска для морской ледостойкой стационарной нефтегазодобывающей платформы. Крупные пожары: Предупреждение и тушение / И.А. Болодьян [и др.] // Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции. – ч. 1. – М.: ВНИИПО, 2001. – С 166-168.

77. Гордиенко, Д. М. Нормативные требования пожарной безопасности к АЗС, осуществляющим заправку транспортных средств газовым моторным топливом. Проблемы нормотворчества в газораспределительной подотрасли – современное состояние и перспективы / Д.М. Гордиенко [и др.] // Материалы 1-ой Всероссийской научно-технической конференции. – Саратов.: ГИПРОНИИГАЗ, 2001. – С. 46-51.

78. *Bolodian, I.A. An estimation of fire and explosion hazard of large tanks for liquefied natural gas / I.A. Bolodian [et all.] // Proceedings of the International conference on Fire Science and Engineering. Edinburgh. – 17-19 September 2001. – vol.2. – p 1309-1324.*

79. *Bolodian, I.A. Fire and Explosion safety of large-scale LNG storages / I.A. Bolodian [et all.] // Proceedings of the 6th Asia-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization. – Kuala Lumpur Malaysia. – 2002. – p. 489-495.*

80. Болодьян, И.А. Требования пожарной безопасности к АЗС газового моторного топлива / И.А. Болодьян [и др.] // Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции «Пожары и окружающая среда». – М.: ВНИИПО, 2002. – С 141-142.

81. Молчанов, В.П. Оценка пожарной безопасности системы поддержания пластового давления морской ледостойкой нефтедобывающей платформы /

В.П. Молчанов [и др.] // Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции. – М.: ВНИИПО. – 2002. – С 144-146.

82. Болодьян, И.А. Критерии допустимого пожарного риска для производственных объектов нефтегазового комплекса / И.А. Болодьян [и др.] // Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции. – М.: ВНИИПО. – 2002. – С 149-151.

83. *Shebeko, Yu.N. Fire risk assessment for oil production offshore facilities / Yu.N. Shebeko [et all] // 4th International Seminar on Fire and Explosion Hazards. Book of abstracts. – Londonderry. – 2003. – p. 188-189.*

84. Болодьян, И. А. О допустимом пожарном риске для объектов нефтегазового комплекса / И.А. Болодьян [и др.] // Материалы тематического семинара «Об опыте декларирования промышленной безопасности и развитии методов оценки риска опасных производственных объектов» ГУП «Научно-технический центр по промышленной безопасности Госгортехнадзора России». – М. – 2003. – 96 с.

85. Болодьян, И. А. Пожарная безопасность встроенных и пристроенных АЗС / И.А. Болодьян [и др.] // Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции. – М.: ВНИИПО. – 2003. – С 12-14.

86. Болодьян, И. А. Пожарная безопасность АЗС сжиженного природного газа / И.А. Болодьян [и др.] // Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции. – М.: ВНИИПО. – 2003. – С 14-16.

87. Болодьян, И. А. Пожарная безопасность береговых буровых площадок / И.А. Болодьян [и др.] // Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции. – М.: ВНИИПО. – 2003. – С 17-18.

88. Болодьян, И. А. Пожарная безопасность морских терминалов отгрузки нефти / И.А. Болодьян [и др.] // Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции. – М.: ВНИИПО. – 2003. – С 19-20.

89. *Shebeko, Yu.N. An experimental investigation of heavy gas dispersion from a safety relief tube near the ground / Yu.N. Shebeko [et all] // Progress in combustion and detonation. – Moscow. – Torus Press. – 2004. – p. 229-230.*

90. Болодьян, И. А. Оценка пожарного риска автозаправочных станций / И.А. Болодьян [и др.] // Региональные риски чрезвычайных ситуаций и управление природной и техногенной безопасностью муниципальных образований. Материалы девятой Всероссийской научно-практической конференции по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. – 20-21 апреля 2004 г. – М.: Триада. – ЛТД – 2004. – С. 50-61.

91. Шебеко, Ю.Н. Оценка пожарного риска для крупномасштабного терминала отгрузки нефти / Ю.Н. Шебеко [и др.] // XIII Симпозиум по горению и взрыву. – Тезисы докладов. – г. Черногоровка. – 7-11 февраля 2005. – 227 с.

92. Шебеко, Ю. Н. Оценка пожарного риска для топливозаправочного пункта диметилового эфира / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Материалы XIX научно-практической конференции «Пожарная безопасность многофункциональных и

высотных зданий и сооружений». – М.: ВНИИПО. – 2005. – Часть 1. – С 145-147.

93. Шебеко, Ю. Н. Оценка пожарного риска для крупномасштабного терминала отгрузки нефти / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Материалы XIX научно-практической конференции «Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений». – М.: ВНИИПО. – 2005. – Часть 1. – С 177-179.

94. Шебеко Ю.Н. Оценка пожарного риска для буровой площадки с комплексом первичной подготовки нефти и газа / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Материалы XIX научно-практической конференции «Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений». – М.: ВНИИПО. – 2005. – Часть 1. – С 174-177.

95. Шебеко, Ю.Н. Оценка и управление пожарным риском для промышленных объектов / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Материалы конференции «Управление рисками и устойчивое развитие единой системы газоснабжения России» (RIMS) 1-2 февраля 2006. – М.: ВНИИГАЗ. – 2006. – TS-B13.

96. Шебеко, Ю. Н. Оценка пожарного риска для топливозаправочного пункта диметилового эфира / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Материалы конференции «Управление рисками и устойчивое развитие единой системы газоснабжения России» (RIMS) 1-2 февраля 2006. – М.: ВНИИГАЗ. – 2006. – TS-B 14.

97. *Shebeko, Yu.N. Fire and explosion risk assessment for large-scale oil export terminal / Yu.N. Shebeko [et all.] // 6-th International Symposium on Hazards, Prevention and Mitigation of Industrial Explosions. Halifax, Dalhousie University, 2006. – p. 760-772.*

98. *Shebeko, Yu.N. Fire and explosion risk assessment for large-scale oil export terminal / Yu.N. Shebeko [et all.] // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2007. – v. 20. – №4-6. – p. 651-658.*

99. Болодьян, И.А. Методология оценки пожарного риска для промышленных объектов / И.А. Болодьян [и др.] // Материалы XX Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию создания института «Исторические и современные аспекты решения проблем горения, тушения и обеспечения безопасности людей при пожарах». М.: ВНИИПО. – 2007. – Часть 1. – С. 25-28.

100. Некрасов, В.П. Нормирование пожарной безопасности морских стационарных нефтегазодобывающих платформ / В.П. Некрасов [и др.] // Материалы XX Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию создания института «Исторические и современные аспекты решения проблем горения, тушения и обеспечения безопасности людей при пожарах». М.: ВНИИПО. – 2007. – Часть 1. – С. 28-32.

101. Шебеко, Ю.Н. Оценка влияния на пожарную опасность участков автомобильных эстакад расположенных вблизи них автозаправочных станций / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Материалы XX Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию создания института «Исторические и

современные аспекты решения проблем горения, тушения и обеспечения безопасности людей при пожарах». М.: ВНИИПО. – 2007. – Часть 1. – С. 140-141.

102. Болодьян, И.А. Оценка пожарного риска как основа реализации гибкого нормирования в строительстве / И.А. Болодьян, Ю.Н. Шебеко, Д.М. Гордиенко // Юбилейный сборник трудов ФГУ ВНИИПО МЧС России / Под общ. ред. Н.П. Копылова. – М.: ВНИИПО. – 2007. – С. 19-53.

103. Шебеко, Ю.Н. Пожарный риск для крупномасштабного морского терминала отгрузки нефти. Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций / Ю.Н. Шебеко [и др.] // VII научно-практическая конференция. 2-4 октября 2007 – Сборник материалов. – М.: Центр «Антистихия». – 2007. – С. 146-147.

104. Шебеко, Ю.Н. Оценка опасных факторов пожара автозаправочных станций для расположенных вблизи них автомобильных эстакад. Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. / Ю.Н. Шебеко [и др.] // VII научно-практическая конференция. 2-4 октября 2007 г. Сборник материалов. М.: Центр «Антистихия». – 2007. – С. 147-148.

105. Гордиенко, Д.М. Экспериментальное исследование процесса эвакуации людей при пожаре с этажерки технологической установки газоперерабатывающего завода. Актуальные проблемы пожарной безопасности / Д.М. Гордиенко [и др.] // Материалы Международной научно-практической конференции. М.: ВНИИПО. – 2008. – Часть 1. – С. 202-203.

106. Шебеко, Ю.Н. Обеспечение пожарной безопасности нефтебазы при возникновении в условиях городской застройки отступлений от требований пожарной безопасности. Актуальные проблемы пожарной безопасности / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Материалы Международной научно-практической конференции. М.: ВНИИПО. – 2008. – Часть 1. – С. 204-206.

107. *Shebeko, Yu.N. An evaluation of a fire and explosion hazard of oil product storage located near a city / Yu.N. Shebeko [et all.] // Seventh International Symposium on Hazards Prevention, and Mitigation of Industrial Explosions. St' Petersburg. – July 7-11. – 2008. – v. III. – p. 290-294.*

108. *Shebeko, Yu.N. An assessment of fire risk for multifuel car refueling stations / Yu.N. Shebeko [et all.] // Resilience of Cities to Terrorist and other Threats. Springer. – 2008. – p. 135-144.*

109. Шебеко, Ю.Н. Пожарная безопасность топливозаправочного пункта диметилового эфира / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Международный научно-технический журнал «Транспорт на альтернативном топливе». – 2008. – №3. – С. 50-56.

110. Шебеко, Ю.Н. Особенности оценки пожарного риска для сложных и уникальных сооружений / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Тезисы докладов XI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности». М.: ВНИИПО. – 2009. – Часть 1. – С. 3-4.

111. Шебеко, Ю.Н. Обеспечение пожарной безопасности товарно-сырьевого склада сжиженного углеводородного газа, расположенного в черте

населенного пункта / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Тезисы докладов XI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности». М.: ВНИИПО. – 2009. – Часть 1. – С. 32-33.

112. Шебеко, Ю.Н. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Тезисы семинара «Декларирование пожарной безопасности и оценка пожарных рисков» в рамках Международной выставки «Нефть и газ» / MIOGE 2009. М.: ВНИИПО. – 2009. – С. 5-6.

113. Шебеко, Ю.Н. Современные подходы к обеспечению пожарной безопасности объектов нефтегазового комплекса с учетом требований ФЗ №123-ФЗ от 22.07.2008 г. «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» / Ю.Н. Шебеко, Д.М. Гордиенко // Тезисы докладов XI Российской научно-практической конференции «Техническое регулирование в нефтяной и газовой промышленности». М.: ГАЗПРОМ. – 2009. – С. 19-20.

114. Гордиенко, Д.М. О методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах в соответствии с требованиями ФЗ №123-ФЗ от 22.07.2008 г. «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» / Д.М. Гордиенко, Ю.Н. Шебеко // Тезисы докладов XI Российской научно-практической конференции «Техническое регулирование в нефтяной и газовой промышленности». М.: ГАЗПРОМ. – 2009. – С. 56-57.

115. Дешевых, Ю.И. К вопросу об оценке пожарного риска для магистральных трубопроводов / Ю.И. Дешевых [и др.] // Трубопроводный транспорт. – 2010. – №2 (18). – С. 24-28.

116. Шебеко, Ю.Н. Обеспечение пожарной безопасности резервуарного парка хранения нефтепродуктов, расположенного вблизи жилых и общественных зданий / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Тезисы докладов XXII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности». М.: ВНИИПО. – 2010. – Часть 1. – С. 31-32.

117. Шебеко, Ю.Н. Оценка риска эскалации пожара в производственных зданиях и сооружениях / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Тезисы докладов XXII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности». М.: ВНИИПО. – 2010. – Часть 1. – С. 62-63.

118. Гордиенко, Д.М. Современные подходы к обеспечению пожарной безопасности производственных объектов с учетом требований Федерального закона №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22 июля 2008 г. / Д.М. Гордиенко, Ю.Н. Шебеко // Сборник докладов «Конференция «Актуальные проблемы промышленной безопасности: от проектирования до страхования». VIII Международный форум по промышленной безопасности 24-27 мая 2010 г.» Санкт-Петербург.: Группа компаний «Городской центр экспертиз». – 2010. – С. 118-120.

119. Гордиенко, Д.М. Пожарный риск и техническое регулирование пожарной безопасности производственных объектов / Д.М. Гордиенко [и др.] //

Юбилейный сборник трудов ФГБУ ВНИИПО МЧС России / Под общ. ред. В.И. Климкина. – М.: ВНИИПО. – 2012. – С. 129-161.

120. Шебеко, Ю.Н. Совершенствование подходов к определению расчетных величин пожарного риска для зданий производственных объектов / Ю.Н. Шебеко [и др.] // XXIV Международная научно-практическая конференция по проблемам пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института: тезисы докладов. – Ч. 1. М.: ВНИИПО. – 2011. – С. 25-27.

121. Шебеко, Ю.Н. Критерии предельно допустимого пожарного риска для производственных объектов / Ю.Н. Шебеко [и др.] // XXIV Международная научно-практическая конференция по проблемам пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института: тезисы докладов. Ч. 1. М.: ВНИИПО. – 2011. – С. 73-75.

122. Шебеко, Ю.Н. Особенности определения расчетных величин индивидуального пожарного риска для зданий химической промышленности на примере цеха гранулированной серы / Ю.Н. Шебеко [и др.] // XXIV Международная научно-практическая конференция по проблемам пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института: тезисы докладов. Ч. 1. М.: ВНИИПО. – 2011. – С. 75-77.

123. Гордиенко, Д.М. Современные подходы к обеспечению пожарной безопасности производственных объектов / Д.М. Гордиенко, Ю.Н. Шебеко // Труды 11-й Международной конференции и выставки по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (RAO/CIS Offshore 2013). 10-13 сентября 2013 г. – Санкт-Петербург – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2013. – С. 291-295.

124. Мордвинова, А.В. Нормирование пожарной безопасности морских стационарных нефтегазодобывающих платформ / А.В. Мордвинова [и др.] // Труды 11-й Международной конференции и выставки по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (RAO/CIS Offshore 2013). 10-13 сентября 2013 г. – Санкт-Петербург – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2013. – С. 307-311.

125. Гордиенко, Д.М. Особенности оценки пожарного риска для уникальных высотных промышленных зданий / Д.М. Гордиенко [и др.] // Материалы XXVI Международной научно-практической конференции по проблемам пожарной безопасности. М.: ВНИИПО. – 2014. – С. 337-339.

126. Гордиенко, Д. М. Сравнение подходов в нормировании вопросов пожарной безопасности АЗС с наличием компримированного природного газа в России и ряде технически развитых стран мира / Д.М. Гордиенко, В.Л. Малкин, В.В. Ильичев // Материалы XXVI Международной научно-практической конференции по проблемам пожарной безопасности. М.: ВНИИПО. – 2014. – С. 345-346.

127. Мордвинова, А.В. Выбор барьеров безопасности для морской стационарной нефтегазодобывающей платформы / А.В. Мордвинова [и др.] //

Материалы XXVI Международной научно-практической конференции по проблемам пожарной безопасности. М.: ВНИИПО. – 2014. – С. 346-347.

128. Gordienko, D.M. *A Comparison of Criteria of a Tolerable Fire Risk for Industrial Objects in Various Countries / D.M. Gordienko [et all.] // Proceedings of the Tens International Symposium on Hazards, Prevention and Mitigation of Industrial Explosions (XISHPMIE).Bergen. – 2014. – p. 1703-1710.*

129. Гордиенко, Д.М. Пожарная безопасность морских стационарных платформ для добычи нефти и газа на континентальном шельфе / Д.М. Гордиенко // Сборник докладов XII Международного Форума по промышленной безопасности. Санкт-Петербург. – 2014. – С. 139-143.

130. Хасанов, И.Р. Совершенствование ГОСТ 12.1.044-89 «ССБТ. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения». Актуальные проблемы пожарной безопасности / И.Р. Хасанов [и др.] // Материалы XXVII Международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию МЧС России. М.: ВНИИПО. – 2015. – С. 123-136.

131. Гордиенко, Д.М. Совершенствование методов расчета пожарного риска для производственных зданий. Актуальные проблемы пожарной безопасности / Д.М. Гордиенко [и др.] // Материалы XXVII Международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию МЧС России. В 3 ч. Ч.1. – М.: ВНИИПО. – 2015. – С. 277-287.

132. Мордвинова, А.В. Пожарная безопасность морских стационарных нефтегазодобывающих платформ Арктического региона. Актуальные проблемы пожарной безопасности / А.В. Мордвинова [и др.] // Материалы XXVII Международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию МЧС России. В 3 ч. Ч.2. М.: ВНИИПО. – 2015. – С. 123-132.

133. Шебеко, Ю.Н. Определение эквивалентной продолжительности пожара для строительных конструкций с помощью полевого метода моделирования пожара в помещении. Актуальные проблемы пожарной безопасности / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Материалы XXVII Международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию МЧС России. В 3 ч. Ч.3. М.: ВНИИПО. – 2015. – С. 213-215.

134. Гордиенко, Д.М. Инженерные системы обеспечения пожарной безопасности зданий. Краткосрочные и долгосрочные перспективы развития технических средств предотвращения и тушения пожаров / Д.М. Гордиенко [и др.] // Материалы науч.-практ. конф. М.: ВНИИПО. – 2016. – С. 24-30.

135. Гордиенко, Д.М. Дополнительный критерий допустимого пожарного риска для сложных взаимодействующих систем промышленных объектов. Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXVIII Международной научно-практической конференции.: в II ч. Ч.1. М.: ВНИИПО. – 2016. – С. 283-294.

136. Гордиенко, Д.М. Противопожарное нормирование на объектах с обращением сжиженных горючих газов. Актуальные проблемы пожарной

безопасности / Д.М. Гордиенко [и др.] // Материалы XXVIII Международной научно-практической конференции.: в 2 ч. Ч.1. М.: ВНИИПО. – 2016. – С. 355-362.

137. *Artamonov, V.S. Fire safety of ground-based space facilities on the spaceport “Vostochny” / V.S. Artamonov, D.M. Gordienko, A.S. Melikhov // Acta Astronautica. – 135 (2017). – p. 83–91.*

Подписано в печать 23.01.2018. Формат 60x84/1/16.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 277

Типография ФГБУ ВНИИПО МЧС России

Мкр. ВНИИПО, д.12, г. Балашиха
Московская обл., 143903