

**Министерство Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий**

Академия Государственной противопожарной службы

На правах рукописи



Фогилев Иван Сергеевич

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЙ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА
ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ПОЖАРОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ
АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Специальность: 05.26.03 – «Пожарная и промышленная безопасность»
(отрасль энергетика, технические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук,
Ищенко Андрей Дмитриевич

Москва – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1	13
АНАЛИЗ ДЕЙСТВИЙ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ПОЖАРОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ.....	13
1.1 Анализ пожаров, произошедших на объектах атомных электростанций в России и за рубежом	13
1.2 Порядок реагирования подразделений ФПС ГПС по охране атомных электростанций к месту вызова	20
1.3 Организация дежурства оперативного персонала атомных электростанций в условиях многосменного круглосуточного режима работы.....	24
1.3 Анализ действий оперативного персонала атомных электростанций в условиях воздействия опасных факторов пожара	27
Выводы по первой главе	31
ГЛАВА 2 ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА В ТИПОВЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	33
2.1 Выбор и обоснование математической модели развития пожара и исходных данных для типовых помещений атомных электростанций.....	33
2.2 Прогноз развития опасных факторов пожара в типовых помещениях атомных электростанций с реактором большой мощности канальным.....	40
2.2.1 Прогноз развития опасных факторов пожара на блочном щите управления атомной электростанций с реактором большой мощности канальным	42
2.2.2 Прогноз развития опасных факторов пожара в помещении машинного зала атомной электростанции с реактором большой мощности канальным	52
2.3 Необходимость обеспечения оперативного персонала атомных электростанций техническими средствами для выполнения работ при возникновении пожара на основе прогноза развития опасных факторов пожара.....	63

Выводы по второй главе	66
ГЛАВА 3 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЙ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ПОЖАРОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	68
3.1 Расчет энергозатрат человека для транспортировки необходимых технических средств к месту проведения работ при пожаре	68
3.2 Разработка передвижного комплекта технических средств для обеспечения действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций и его практическая апробация	72
3.3 Моделирование действий персонала при возникновении пожаров в типовых помещениях атомных электростанций	90
3.3.1 Моделирование действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещении блочного щита управления атомных электростанций	94
3.3.2 Моделирование действий оперативного персонала при пожарах в помещении машинного зала атомных электростанций с реактором большой мощности канальным	96
3.4 Применение интервального анализа к оценке временных характеристик действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций	100
3.4.1 Оценка суммарного времени действий оперативного персонала при пожаре на щите управления атомной электростанции	102
3.4.2 Оценка суммарного времени действий оперативного персонала при пожаре в помещении машинного зала атомной электростанции	103
3.5 Оценка возможностей транспортировки передвижного комплекта по различным поверхностям	104
Выводы по третьей главе	111

ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ И МЕТОДИКИ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА К ДЕЙСТВИЯМ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ПОЖАРОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ	114
4.1 Порядок подготовки и применение передвижного комплекта технических средств оперативным персоналом атомной электростанции	114
4.2 Проведение натурных испытаний передвижного комплекта технических средств защиты и обеспечения действий оперативным персоналом энергопредприятия.....	117
4.3 Расчет тушения очага пожара оперативным персоналом на блочном щите управления атомной электростанции первичными средствами пожаротушения	124
4.4 Рекомендации по подготовке оперативного персонала к действиям при возникновении пожаров в помещениях атомной электростанции в рамках ежегодного поддержания и повышения квалификации.....	127
Выводы по четвертой главе.....	130
Заключение	132
Список литературы	133
Приложение А	146
«Организация защиты оперативного персонала атомных электростанций при пожарах (авариях) в условиях непригодной для дыхания среды» Инструкция И 1.3.2.15.1111–2016	146
Приложение Б	148
Организация тренировок личного состава подразделений ФПС по охране АЭС и оперативного персонала АЭС, в том числе совместных, на базе огневых учебно-тренировочных комплексов (полигонов), эксплуатируемых на АЭСМП 1.3.2.09.1026–2015.....	148
Приложение В Акты внедрения.....	150

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Крупнейшим предприятием электроэнергетической отрасли России и единственной в России компанией, выполняющей функции эксплуатирующей организации (т. е. оператора) атомных электростанций (далее – АЭС) является акционерное общество «Концерн Росэнергоатом». На правах филиалов в состав концерна входят 10 АЭС, расположенных на территории России. В настоящее время эксплуатируются 35 энергоблоков, суммарной установленной мощностью 27,9 ГВт:

- 18 энергоблоков с реакторами типа ВВЭР (из них 12 энергоблоков ВВЭР–1000, 1 энергоблок ВВЭР–1200 и 5 энергоблоков ВВЭР–440 различных модификаций);

- 15 энергоблоков с канальными реакторами (11 энергоблоков с реакторами типа РБМК–1000 и 4 энергоблока с реакторами типа ЭГП–6;

- 2 энергоблока с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым охлаждением (БН-600 и БН-800).

Доля выработки электроэнергии атомными станциями в России составляет около 18,9 % всего производимого электричества. При этом в Европейской части страны доля атомной энергетики достигает 30 %, а на Северо-Западе – 37 % [1].

На основании Прогноза развития энергетики мира и России до 2040 года, подготовленного Аналитическим центром при Президенте Российской Федерации (ИНЭИ РАН) атомная энергетика в период с 2010 по 2040 годы будет занимать третье место по темпам прироста потребления в мире после возобновляемых источников энергии и газа, причем в силу многих причин практически весь этот рост будет сосредоточен в развивающихся странах [2]. На рисунке 1 представлен прогноз производства электроэнергии на АЭС по различным регионам мира.

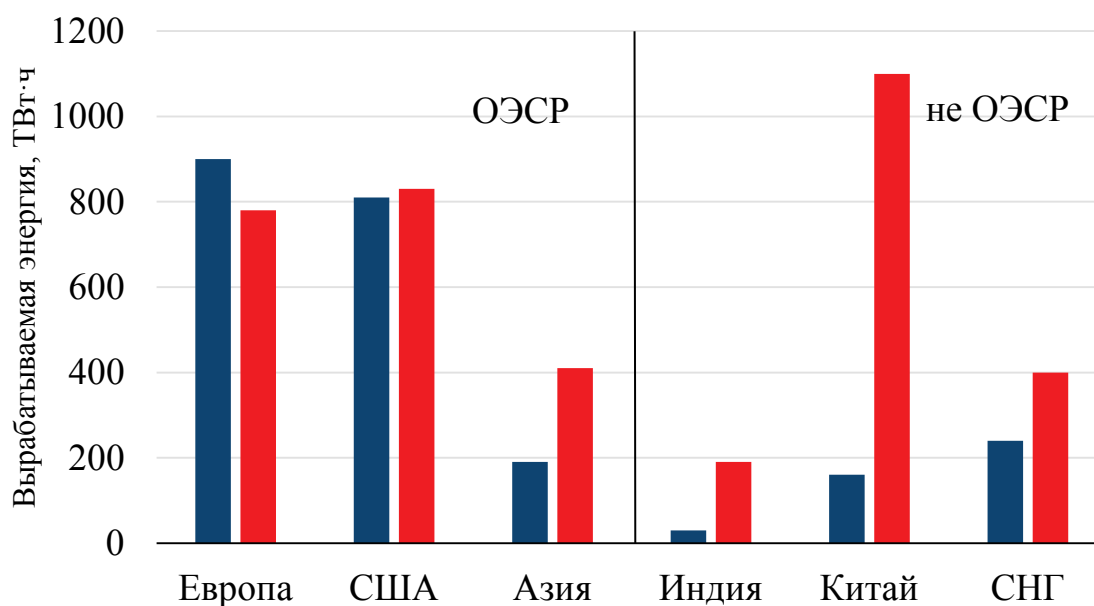


Рисунок 1.1 – Производство электроэнергии на АЭС по регионам мира:

■ – 2013 год; ■ – 2040 год

Все действующие АЭС России входят в перечень критически важных и потенциально опасных объектов и размещаются в пределах крупных городов и населенных пунктов. Возникновение пожаров на АЭС – явление не такое частое, однако его последствия, как правило, катастрофичны, а ущерб для населения и территорий государства – колоссальный [3]. Специфика возникновения пожаров на АЭС заключается в том, что они могут являться как исходным событием для развития проектной или тяжелой аварии, так и последующим – в результате аварийной ситуации на АЭС. В связи с этим совершенствование системы обеспечения пожарной безопасности АЭС является важным условием для предупреждения и успешной ликвидации пожаров.

Следует отметить, что в случаях возникновения пожаров первоначальные действия по его локализации до прибытия объектовых подразделений пожарной охраны будет выполнять оперативный персонал АЭС, осуществляющий круглосуточное многосменное дежурство по выработке электрической энергии в составе оперативных бригад. Необходимость своевременного и оперативного реагирования на пожары, возникающие на АЭС, ставят задачи повышения уровня подготовки оперативного персонала, его защиты, а также обеспечения возможностей выполнять перечень работ при пожаре, определяемых локальными нормативными документами АО «Концерн Росэнергоатом» [4].

Анализ статистических данных о пожарах на АЭС мира и России показал, что на них в первую очередь получает травмы различной степени тяжести именно оперативный персонал, а в отдельных случаях наступает их гибель.

Сегодня оперативный персонал действующих АЭС обеспечен, как правило, только средствами защиты органов дыхания и зрения для работы в условиях непригодной для дыхания среды при пожарах (далее – НДС), в АО «Концерн Росэнергоатом» разработаны локальные нормативные документы по их применению, однако эти мероприятия не являются достаточными для безопасности персонала, работающего в условиях воздействия опасных факторов при возникновении пожаров.

В этой связи необходимо разработать комплекс мероприятий, позволяющих наряду с обеспечением безопасности оперативного персонала выполнять неотложные действия по эвакуации (спасению) людей, сбору информации, выполнению технологических операций, а также посильному тушению возникающих в помещениях АЭС пожаров в начальной стадии их развития.

Проводимое исследование является актуальным, так как достижение необходимых и достаточных условий для обеспечения действий оперативного персонала АЭС в условиях воздействия опасных факторов пожара является одним из критериев безопасной эксплуатации атомных электростанций.

Степень разработанности темы исследования. Значительный вклад в разработку мероприятий по обеспечению пожарной безопасности энергетических предприятий внесли ученые Академии ГПС МЧС России (М.Д. Безбородько, М.В. Алешков, Ю.А. Кошмаров, В.И. Зыков, А.В. Федоров, С.В. Пузач, А.Н. Членов, Ю.А. Поляков и др.).

Вопросами моделирования развития пожара и его последствий на объектах ядерной энергетики занимались ученые и специалисты ВНИИПО МЧС России (А.К. Микеев, Н.П. Копылов, И.А. Болодьян, А.Н. Баратов и др.). Исследование вопросов обеспечения безопасности персонала при пожаре в зоне контролируемого доступа проводил специалист ВНИИПО МЧС России, д.т.н. Д.И. Пуцев.

Наиболее крупной международной организацией, изучающей вопросы безопасности атомной энергетики, является Международное агентство по атомной энергии (далее – МАГАТЭ, англ. International Atomic Energy Agency, IAEA).

МАГАТЭ оказывает государствам-членам, осваивающим ядерную науку и технологии, помощь в форме экспертизы, организации адресной, специализированной подготовки кадров и учений по обеспечению аварийной готовности [5].

Среди зарубежных ученых, занимающимися вопросами обеспечения безопасности атомной энергетики и входящих в состав экспертов МАГАТЭ, необходимо отметить *P. Contri (IAEA)*, *A.P. Haighton (British Energy Generation Ltd)*, *M. Kaercher (Electricite de France)*, *R. Lojk (Canada)*, *E. Mailler (Association Vincotte Nuclear, Belgium)*, *H. Tezuka (IAEA)*.

Учеными России и зарубежных стран достаточно много внимания уделено вопросам повышения пожарной безопасности атомных электростанций, однако проблема обеспечения действий оперативным персоналом в начальной стадии развития пожаров в помещениях АЭС остается не полностью решенной.

В настоящее время отсутствуют научно обоснованные подходы и решения обеспечения действий оперативного персонала АЭС в условиях воздействия опасных факторов пожара, позволяющие выполнить неотложные мероприятия по эвакуации и спасению людей, сбору информации, выполнению технологических операций, а также усиленному тушению возникающих в помещениях АЭС пожаров в начальной стадии их развития. Требуется проведение дальнейших исследований и практических разработок, с их последующим внедрением на АЭС.

Цель исследования – разработка новых научно-обоснованных подходов и технических решений для обеспечения действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- провести анализ действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций;
- выполнить теоретические исследования влияния опасных факторов пожара на оперативный персонал типовых помещений атомных электростанций;
- обосновать подход к обеспечению действий оперативного персонала атомных электростанций на основе прогнозирования развития опасных факторов пожара;

- обосновать и разработать техническое решение для обеспечения действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций;

- разработать рекомендации по защите оперативного персонала и его подготовке к действиям при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций.

Объектом исследования являлась динамика воздействия опасных факторов пожара на действия оперативного персонала в помещениях атомных электростанций в начальной стадии их развития.

В качестве **предмета исследования** – обеспечение действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Научно обоснован подход к обеспечению действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций.

2. Получены новые экспериментальные данные пределов возможностей оперативного персонала атомных электростанций при их действиях в условиях развития опасных факторов пожара, с использованием разработанного комплекта технических средств.

3. Разработана методика подготовки и алгоритмы действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций.

Теоретическая и практическая значимость исследования заключается в использовании полученных при ее выполнении результатов теоретических и экспериментальных исследований при разработке комплекта технических средств защиты и обеспечения действий оперативного персонала и его применении на действующих атомных станциях России.

В частности, на АЭС:

- повышены возможности действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций посредством использования разработанного комплекта технических средств;

- минимизировано время реагирования оперативного персонала на пожар путем облегчения доставки комплекта технических средств для его защиты и обеспечения действий;

– оптимизирована эксплуатация комплекта технических средств за счет увеличения межсервисного интервала контроля работоспособности средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения.

Методология и методы исследования. Поставленные задачи решались автором настоящей диссертационной работы путем теоретических и экспериментальных методов исследований. Основу теоретических исследований составляли методы теории горения, тепломассообмена, моделирования, математической статистики и математического анализа.

Экспериментальный метод исследования решен путем проведения ряда натурных экспериментов по возможности использования комплекта в условиях учебно-тренировочных модулей с максимально приближенной картиной пожара, а также в режиме повседневной деятельности оперативного персонала крупного энергетического предприятия.

В качестве информационной основы проводимых исследований применялись материалы как научно–исследовательских и опытно-конструкторских работ в области обеспечения пожарной безопасности объектов атомной энергетики, так и отечественная и зарубежная литература, материалы расследований и экспертиз пожаров, интернет ресурсы, справочные, правовые и нормативные источники.

Положения, выносимые на защиту:

- обоснование подходов к обеспечению действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций;
- методика и результаты экспериментальных исследований по определению временных параметров реагирования оперативного персонала к месту возникновения пожара, возможности выполнения работ и удобству эксплуатации комплекта технических средств;
- алгоритм действий оперативного персонала атомных электростанций при возникновении пожаров, с использованием разработанного комплекта технических средств.

Степень достоверности результатов исследований и выводов, представленных в диссертации, достигались путем применением математических

моделей для решения поставленных задач; соответствием методик проведения экспериментальных исследований реальным условиям эксплуатации комплекта средств защиты и обеспечения действий оперативно персонала при пожарах в помещениях АЭС; использованием сертифицированного измерительного оборудования с достаточной точностью измерения; удовлетворительной сходимостью экспериментальных и теоретических результатов.

Личный вклад автора. В работах, опубликованных в соавторстве в изданиях, рекомендованных ВАК, все результаты, составляющие научную новизну и выносимые на защиту, получены автором лично.

Материалы исследования реализованы при:

- разработке нормативного документа АО «Концерн Росэнергоатом» – МР 1.3.2.09.1026–2015 «Организация тренировок личного состава объектовых подразделений ФПС по охране АЭС и оперативного персонала АЭС, в том числе совместных на базе огневых учебно-тренировочных комплексов (полигонов), эксплуатируемых на АЭС. Методические рекомендации»;
- при разработке нормативного документа АО «Концерн Росэнергоатом» по защите оперативного персонала – «И1.3.2.15.1111–2016 «Организация защиты оперативного персонала атомных станций при пожарах (авариях) в условиях непригодной для дыхания среды. Инструкция»;
- при разработке технического решения по увеличению межсервисного интервала обслуживания дыхательного аппарата со сжатым воздухом «ОМЕГА-С», применяемого оперативным персоналом на АЭС России;
- в учебном процессе Академии ГПС МЧС России при реализации основных и дополнительных профессиональных программ;
- в процессе подготовки оперативного персонала к действиям при возникновении пожара на базе учебного центра Смоленской АЭС.

Основные результаты работ доложены на:

- V международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2016 г.);

– Международной научно–практической конференции «Чернобыль – 30 лет», посвященной 30-летию со дня катастрофы на Чернобыльской АЭС (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2016 г.);

– V международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2016» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2016 г.);

– V международной научной конференции – «Чернобыль: 30 лет спустя» (Республика Беларусь, Гомель, 2016 г.);

– Семинаре-совещании на тему «Проблемы организации тушения пожаров всеми видами пожарной охраны на территории Российской Федерации» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 17 марта 2017 г.);

– XVIII научной школе молодых ученых ИБРАЭ РАН, проходившей 16–17 ноября 2017 года в институте проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (г. Москва, ИБРАЭ РАН, 2017 г.)

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, из них 7 – в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК для публикации научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и трех приложений. Содержание работы изложено на 154 страницах машинописного текста, включает в себя 26 таблиц, 72 рисунка, список литературы из 104 наименований.

ГЛАВА 1

АНАЛИЗ ДЕЙСТВИЙ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА
ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ПОЖАРОВ
В ПОМЕЩЕНИЯХ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

1.1 Анализ пожаров, произошедших на объектах атомных электростанций
в России и за рубежом

Длительная ежедневная эксплуатация технологического оборудования в процессе выработки электрической энергии в определенных случаях может стать причиной пожара на АЭС. Необходимо отметить, что пожарная нагрузка в помещениях АЭС достаточно велика. На основных производствах используется большое количество горючих веществ, газов и жидкостей (только в машинном зале станции – свыше 100 тонн машинного масла, огромное количество кабельных систем и др.) [6].

Высокая энергонасыщенность технологического процесса обуславливает наличие большого количества источников зажигания. Всё это свидетельствует о чрезвычайно высокой возможности возникновения пожаров и аварий на АЭС. Развившиеся пожары сопровождаются одновременным множеством отказов систем автоматики, технологического оборудования и систем безопасности [7].

Известны тяжелейшие пожары и аварии, происшедшие на объектах атомной энергетики:

1957 год – пожар на уран-графитовом исследовательском реакторе в Уиндскейле (Великобритания; Windscale). Пожар продолжался в течение 4-х суток. Было повреждено 150 технологических каналов, что повлекло за собой выброс радионуклидов через 125 метровую трубу. Погибло 13 человек [8].

1966 год – пожар на реакторе «Энрико Ферми» типа БН (США, Enrico Fermi Nuclear Generating Station). Произошла авария, показавшая значимость даже локального прерывания потока теплоносителя.

Реактор мощностью 200 мВт (тепл.) был загружен металлическим урановым топливом. При выходе реактора на мощность оторвались циркониевые прокладки, установленные под активной зоной, и были унесены потоком, закупорив вход в две ТВС (из 105), которые расплавились из-за недостаточного охлаждения. Реактор был быстро остановлен, и крупномасштабного расплавления активной зоны не произошло. Авария не привела к крайне серьезным последствиям еще и потому, что реактор работал на мощности 15 %, а сборки находились в зоне низкой плотности энерговыделения [9].

1975 год – пожар на АЭС Браунс Ферри (США, Browns Ferry Nuclear Power Plant). Данный пожар считается одним из самых крупных как по ущербу, так и по риску возможных последствий. Пожаром, возникшем в кабельном канале, были выведены из строя аварийные системы управления реактором, охлаждения активной зоны, автоматические системы пожаротушения. Пожар продолжался свыше 7 часов. Сгорело около 2000 обособленных контрольных, сигнализационных и силовых кабелей, уничтожено более 1800 кг кабелей с полихлорвиниловой изоляцией, в результате чего в реакторный зал выделилось более 630 кг хлора. Огонь повредил или уничтожил более 1600 кабельных линий, из которых не менее 600 относились к системам управления защитой станции.

Необходимо отметить, что только через 15 минут после возгорания, когда убедились, что имеющиеся противопожарные средства недостаточны, персонал начал вызывать пожарную команду. Оказалось, что номер ее телефона был перепутан. Только через час приехала пожарная команда, и тогда обнаружилось, что не имеется инструкций, как тушить пожар на ядерной электростанции. Вследствие этого в течение шести часов не производилось никаких активных действий по ликвидации чрезвычайной ситуации [10].

1978 год 30 декабря – пожар на Белоярской АЭС (Россия, Свердловская область). Этот пожар называли первым Чернобылем. Температура окружающей среды минус 50 °С. Из-за разгерметизации или разрушения трубопроводов маслохозяйства турбогенератора № 2 (ТГ-2) произошел выброс масла, а после – его самовоспламенение при попадании на нагретые до высокой температуры детали

турбины ТГ-2 или паропровода. В результате аварии обрушилось покрытие машинного зала над ТГ-2 на площади 960 м², повреждены огнем кабели и щиты в главном корпусе на отметках 12,35 и 6,40 м, а также электрические пульты блочного щита управления (БЩУ № 2 на отметке 20,0 м, часть контрольных и силовых кабелей в шахтах № 3 и 4.

Действия оперативного персонала по отключению оборудования, расхолаживанию реакторов проводились в крайне тяжелых условиях. Из-за пожара и коротких замыканий кабелей вышли из строя штатные системы управления и контроля реакторных установок. Помещения были настолько сильно задымлены, что вдыхать воздух без использования кислородных изолирующих противогазов (КИП) было невозможно. Но у дежурного персонала не было КИП, поэтому газодымозащитникам объектового пожарного подразделения приходилось на свой страх и риск надевать на инженера или техника КИП и со звеном ГДЗС сопровождать специалиста на БЩУ-2. Некоторые из атомщиков не выдерживали и теряли сознание; 25 человек из числа персонала АЭС и пожарных получили отравления продуктами горения различной степени тяжести. Для ликвидации пожара потребовалось 10 часов [11, 12].

1981 год – пожар на АЭС Сан Онофре (США, San Onofre Nuclear Generating Station). Причиной послужило повреждение маслопровода на дизель-генераторе. Вслед за пожаром произошел взрыв из-за загорания водорода в системе обработки газообразных отходов. Произошел выброс радиоактивных продуктов.

1982 год – пожар на Армянской АЭС (построена во времена СССР на территории Армянской ССР вблизи г. Мецамор). После взрыва генератора на первом энергоблоке произошел пожар. Машинный зал серьезно пострадал от пожара, повреждено оборудование на площади 300 м². Сгорели кабели на площади 400 м². Большая часть персонала в панике покинула станцию, оставив реактор без надзора. Прибывшая самолетом с Кольской АЭС оперативная группа помогла операторам, оставшимся на своем рабочем месте, спасти реактор. Общий ущерб составил около 1 млн руб. (в ценах 1982 г.). Для ликвидации пожара потребовалось почти 7 часов. В тушении участвовали 110 работников пожарной охраны [13].

1984 год – взрыв водорода в системе охлаждения турбогенератора с последующим пожаром на АЭС Ранчо Секо (США, Rancho Seco Nuclear Generating Station). Произошел выброс радиоактивного пара из поврежденного парогенератора. Повреждено вспомогательное оборудование [14].

1985 год – пожар на АЭС Мааньшан (о. Тайвань, Maanshan Nuclear Power Plant). Серьезно повредил оборудование, причинив ущерб на сумму 25 млн долларов. Пожар возник после того, как разрушившиеся 8 лопаток турбины повредили герметичность водородных резервуаров, продолжался 3 часа.

1986 год – взрыв с последующим пожаром на Чернобыльской АЭС (Украина). Погибло 30 человек, госпитализировано свыше 200 и эвакуировано 115 тыс. человек, радиоактивному заражению подверглась территория в радиусе более 2000 км – 11 областей, в которых проживало 17 млн человек.

1986 год (23 мая) – еще один пожар на Чернобыльской АЭС: 42 сотрудника пожарной охраны получили повышенную дозу облучения. Предотвращено распространение огня по кабелям с четвертого на третий энергоблок. Пожар тушили свыше 8 часов [15].

1988 год – пожар на Ингалинской АЭС (Литва, Ignalinos atominė elektrinė). Повреждено около 650 кабелей.

1989 год – взрыв с последующим пожаром на АЭС в Вандельосе (Испания, Central nuclear de Vandellós). Развившийся пожар, который удалось потушить только через 8 часов, вызвал серьезное повреждение в кабельном хозяйстве и привел к подтоплению фундамента реакторного корпуса. Происшедшую аварию национальный совет по ядерной безопасности охарактеризовал «как самую серьезную за всю историю существования атомных электростанций в Испании» [16].

Необходимо отметить и тот факт, что на отдельных АЭС в мире возгорания и пожары возникают повторно (25 августа 2014 – пожар на АЭС в Вандельосе (Испания), 2 августа 2016, 24 апреля 2017 пожары на Ингалинской АЭС и др.).

Согласно статистическим данным [17] в России и в настоящее время на АЭС возникают загорания и пожары (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Пожары и загорания, произошедшие на атомных электростанциях в России в 2012–2018 гг.

Дата	Место	Описание происшествия
06.07.2012	Белоярская АЭС	Произошло возгорание опалубки на строительной площадке главного корпуса четвертого энергоблока АЭС
07.09.2012	Ростовская АЭС	Пожар на строящемся блоке атомной электростанции. Площадь возгорания составила 350 м ²
16.08.2013	Нововоронежская АЭС-2	Произошло возгорание на стройплощадке АЭС-2 на площади 150 м ²
25.11.2013	Калининская АЭС	При проведении работ по восстановлению участка кровли трубопроводного коридора энергоблока № 1 произошло задымление теплоизоляционного материала
20.03.2014	Курская АЭС	Произошло задымление в одном из вспомогательных помещений электрического цеха на третьем энергоблоке АЭС
09.02.2015	Ростовская АЭС	В районе расположения газового корпуса Ростовской АЭС загорелся водород на дренажном вентиле. Возгорание ликвидировали за час пожарные службы станции. Газовый корпус расположен на промплощадке АЭС, в 300 метрах от мест расположения реакторов. Происшествие не повлияло на работу реакторов
18.02.2018	Курская АЭС	В 06:53 на Курской АЭС действием защиты отключился энергоблок № 4 (1000 МВт) с нагрузкой 1065 МВт. Причина – возгорание на трансформаторе собственных нужд. Станция снизила рабочую мощность на 1000 МВт. Возгорание на трансформаторе ликвидировано, радиационных последствий нет

Сбор и обработку статистических данных по возгораниям и пожарам, происходящим на различных объектах, в том числе и объектах энергетического комплекса, проводит Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России (ФГБОУ ВНИИПО МЧС России), однако возгорания и пожары в помещениях АЭС, потушенные собственными силами и средствами, зачастую не учитываются и не отмечаются в статистических данных. В этой связи не представляется возможным оценить полную картину произошедших возгораний и пожаров на АЭС в России.

Анализ пожаров, происшедших на АЭС с реакторами различных типов в России и мире показывает, что наиболее часто пожары возникают в помещениях

щитов управления, машинных залах, реакторных отделениях, открытых распределительных устройствах и деаэрационных этажерках [18].

Особая опасность пожаров и взрывов на АЭС определяется двумя факторами:

- возможностью неконтролируемого выхода радиоактивных материалов в атмосферу даже при незначительном пожаре на реакторной установке (далее – РУ) АЭС;

- контакте с водой для некоторых конструкционных и расщепляющихся материалов в активной зоне реактора может не только усилить горение, но и привести к взрывам и катастрофическим последствиям.

Пожары на АЭС могут быть вызваны внешними и (или) внутренними причинами. К внешним причинам относятся экстремальные природные воздействия ветра (смерчи, ураганы, торнадо и др.), наводнения, сейсмического характера. Внешние причины пожаров на АЭС также могут быть вызваны человеческой деятельностью, связанной с авиационными катастрофами, транспортными авариями, саботажем, терроризмом и др.[19].

К внутренним причинам техногенного характера относятся проектные аварии, в том числе:

- течь теплоносителя первого контура;
- потеря теплоносителя;
- разгерметизация корпуса ядерной энергетической установки.

К внутренним причинам организационного характера относятся:

- неудовлетворительная организация (проведение) технического обслуживания и ремонта оборудования энергоблока, неправильные действия персонала АЭС при работе;

- дефекты проекта и монтажа, в том числе отсутствие надежной технической защиты от несанкционированных (ошибочных или умышленных аварийных) действий обслуживающего персонала, способных привести к взрыву реактора, пожару и выбросу радиоактивных материалов; неудовлетворительное качество инструкций и руководящих документов.

Повышенную опасность пожаров и взрывов на АЭС создают:

- большие количества смазочных масел, обращающихся в производстве при температурах, превышающих температуру самовоспламенения;

- электрические кабели, объединенные в крупные потоки и имеющие горючую изоляцию;

- водородная система охлаждения турбогенератора.

Весьма опасными являются помещения, в которые возможно аварийное поступление водорода и взрыв его смеси с воздухом. К таким помещениям относятся отдельные помещения реакторного отделения, машинного зала, электролизная и аккумуляторная [20].

При возникновении пожара на АЭС возможны:

- быстрое распространение огня при повреждении масляной системы турбогенератора, трансформаторов, растекание горючего масла в кабельные туннели, нижерасположенные этажи и подвалы, а также по конструкционным элементам здания в смежные помещения;

- горение изоляции электрических кабелей, проложенных в лотках (коробах), туннелях и шахтах, с выделением токсичных продуктов горения и большого дымообразования;

- возникновение опасных уровней радиации;

- образование взрывоопасных концентраций и воспламенение водорода от искрящих электротехнических устройств или иных источников воспламенения при разуплотнении сальников генератора или разрушении системы водородного охлаждения;

- быстрое и скрытое распространение огня по вентиляционным системам, технологическим нишам, фальшполам и в пространстве подвесных потолков отдельных помещений с выделением большого количества дыма и токсичных продуктов горения в смежные помещения, коридоры и лестничные клетки на путях эвакуации людей;

- деформация и угроза обрушения несущих ферм, других незащищенных металлических конструктивных элементов, покрытия;

- короткие замыкания и горение оборудования (электроустановок), находящихся под напряжением до 6,3 кВ;
- нарушение устойчивой радиосвязи.

Спецификой возникновения и развития пожаров на действующих энергоблоках АЭС является то, что они могут повлечь травмирование и гибель оперативного персонала станции, осуществляющего функции контроля и управления ядерной установки (ЯУ) и, как следствие, последующую цепь возможных нарушений в работе энергоблока. Данное развитие событий может быть вызвано прежде всего влиянием опасных факторов пожара и их последствий на ядерную, радиационную и техническую безопасность АЭС и на дальнейшую безопасную эксплуатацию ядерной установки [21].

В этой связи совершенствование систем предупреждения пожаров и противопожарной защиты энергоблоков АЭС является безусловным условием обеспечения безопасности ядерно-опасных объектов [22].

1.2 Порядок реагирования подразделений ФПС ГПС по охране атомных электростанций к месту вызова

Для организации предупреждения и тушения пожаров на АЭС, в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации, созданы приказом МЧС России и функционируют подразделения федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы по охране АЭС (далее – подразделения ФПС ГПС по охране АЭС) [23].

Совместно со специалистами службы пожарной безопасности АО «Концерн Росэнергоатом» проведен сравнительный анализ следования подразделений ФПС ГПС по охране АЭС к месту вызова (таблицы 1.2–1.4).

Таблица 1.2 – Реагирование подразделений ФПС ГПС по охране Смоленской АЭС к месту вызова

Атомная станция	Объектовое подразделение ФПС ГПС	Объект защиты АЭС	Дата	Расстояние от ПЧ до КПП, км	Время следования, мин
САЭС	ПСЧ-1	Склад дизельного топлива 2-й очереди	31.10.2012	0,15	2
	ПСЧ-1	Помещение 220/11 1-й очереди	22.04.2013	0,15	2
	ПСЧ-1	Помещение 301/1 1-й очереди	05.03.2014	0,15	2

Проведенный анализ реагирования пожарно-спасательной части № 1 по охране Смоленской АЭС к месту вызова показал средний временной показатель следования пожарных автомобилей, равный 2 минутам.

В таблице 1.3. представлена информация по реагированию подразделений ФПС ГПС по охране Курской АЭС к месту вызова

Таблица 1.3 – Реагирование подразделений ФПС ГПС по охране Курской АЭС к месту вызова

Атомная станция	Объектовое подразделение ФПС ГПС	Объект защиты АЭС	Дата	Расстояние от ПЧ до КПП, км	Время следования, мин
КуАЭС	ПСЧ-8	1-я очередь, цех ТАИ, пом. 353	22.01.2013	0,1	5
	ПСЧ-8	1-я очередь 1-й энергоблок, пом. 136/1 реакторного цеха	04.04.2014	0,1	5
	ПСЧ-8	1-я очередь 1-й энергоблок, пом. 114/1 реакторного цеха	07.04.2014	0,1	5

Проведенный анализ реагирования пожарно-спасательной части № 8 по охране Курской АЭС к месту вызова показал средний временной показатель следования пожарных автомобилей, равный 2 минутам, при расстоянии от пожарной части до территории Курской АЭС в 100 метров

В таблице 1.4. представлена сводная информация по реагированию подразделений ФПС ГПС по охране Курской АЭС, Белоярской АЭС, Калининской АЭС, Ростовской АЭС к месту вызова.

Таблица 1.4 – Реагирование подразделений ФПС ГПС по охране АЭС

Атомная станция	Объектовое подразделение ФПС ГПС	Объект защиты АЭС	Дата	Расстояние от ПЧ до КПП, км	Время следования, мин
БелАЭС	ПСЧ-35	Крыша деаэрационной этажерки реактора БН-600	27.06.2013	1	35
КуАЭС	ПСЧ-8	Силовая сборка 17001Н КРУ 0,4 кВт пом. № 103/1 блока ВСРО	20.03.2014	0,8	20
РСТАЭС	ПСЧ-37	Открытая площадка ресиверов водорода, азота	09.02.2015	0,2	16
КЛНАЭС	ПСЧ-8	Фаза «В» шунтирующего реактора Р-1-750	23.07.2010	0,5	4

Проведенный анализ временных параметров реагирования подразделений ФПС ГПС по охране Курской АЭС, Белоярской АЭС, Ростовской АЭС и Калининской АЭС к месту вызова показал:

1. Временной показатель прибытия пожарных автомобилей пожарно-спасательной части № 35 (ПСЧ-35) по охране Белоярской АЭС к месту вызова 27 июня 2013 года составил 35 минут. Данный показатель связан в первую очередь с тем, что сообщение о пожаре поступило диспетчеру ПСЧ-35 только через 25 минут с момента его обнаружения.

2. Время прибытия пожарных автомобилей пожарно-спасательной части № 8 (ПСЧ-8) по охране Курской АЭС к месту вызова 20 марта 2014 года составило 20 минут. В результате проведенной проверки обнаружено, что информация о пожаре поступила в ПСЧ-8 только через 6 минут после его обнаружения.

3. Время следования пожарных автомобилей пожарно-спасательной части № 37 (ПСЧ-37) по охране Ростовской АЭС к месту вызова 09 февраля 2015 года составило 16 минут вследствие сообщения о пожаре в ПСЧ только через 7 минут с момента его обнаружения.

4. В результате изучения причин задержки прибытия подразделений ФПС ГПС по охране АЭС к месту вызова выявлено, что в отдельных случаях виной этому послужила неисправность автоматических средств пропуска пожарных автомобилей через контрольно-пропускные пункты АЭС и несогласованность действий службы охраны объекта.

Проведенный анализ следования объектовых подразделений ФПС ГПС по охране АЭС к месту вызова (т. е. пожара) на территорию АЭС показал, что позднее обнаружение пожара, несвоевременный вызов пожарных подразделений, задержка срабатывания автоматических средств пропуска на территорию АЭС увеличивает время их прибытия от 2 до 35 минут.

Важно отметить, что до прибытия пожарных подразделений оперативный персонал действует согласно утвержденной на АЭС инструкции, при этом существует необходимость эвакуации и спасения персонала, сбора информации о возникшем возгорании, а также проведении необходимых технологических переключений (или отключений) оборудования для выведения реакторной установки в подкритичное состояние. Вместе с этим в начальной стадии развития пожара оперативный персонал должен принять посильные меры по его тушению первичными средствами пожаротушения [24].

Проведенные исследования динамики развития пожара на БЩУ 3-го энергоблока Кольской АЭС (Россия, Мурманская область) в рамках проведения работ по повышению пожарной безопасности станции показал, что наиболее вероятная ситуация развития аварии при возникновении пожара – это тушение пожара на начальной стадии персоналом. При этом если меры по тушению не привели к успеху (большая начальная мощность источника зажигания, развитие пожара в скрытом пространстве, другом труднодоступном месте и т. д.) длительное горение даже одного шкафа электротехнических устройств приводит к потере БЩУ.

Потеря БЩУ происходит в первую очередь по причине потери видимости. Время потери видимости для зала составляет примерно 5 минут, для зального помещения – примерно 10 минут. Прибытие и начало своевременных действий пожарных подразделений при данных сценариях развития пожара маловероятно [25].

1.3 Организация дежурства оперативного персонала атомных электростанций в условиях многосменного круглосуточного режима работы

Оперативный персонал АЭС – это персонал из числа руководителей, специалистов и рабочих АЭС, работающих в смене и осуществляющих комплекс операций по управлению технологическими процессами с целью выработки электрической и тепловой энергии [26].

К оперативному персоналу АЭС относятся:

- оперативный персонал, управляющий ядерной установкой и непосредственно воздействующий на органы управления оборудования, а также осуществляющий управление и обслуживание оборудования в соответствии с утвержденным графиком дежурств;
- оперативно-ремонтный персонал, выполняющий вспомогательные или иные функции, в том числе при чрезвычайных ситуациях (пожарах, авариях и др.) с правом эксплуатационного обслуживания и выполнения оперативных переключений на оборудовании и в системах.

Характер и специфика работы оперативного персонала АЭС различны. Каждое подразделение осуществляет отдельный перечень работ, связанный с технологическими процессами по выработке электрической энергии. Различными являются и действия оперативного персонала при возникновении пожаров на АЭС. Исходя из специфики вида реакторной установки (ВВЭР, РБМК, БН) оперативный персонал можно условно поделить на две категории (рисунок 1.2).



Рисунок.1.2 – Распределение оперативного персонала
исходя из специфики выполняемых работ

Спецификой работы оперативного персонала щитов управления является постоянное нахождение персонала в помещении БЩУ (РЩУ) для осуществления управления РУ даже в условиях непригодной для дыхания среды при пожарах. В случаях невозможности проведения работ по безопасной остановке РУ в помещении БЩУ оперативный персонал осуществляет переход на РЩУ. При возникновении пожара на БЩУ оперативный персонал обязан продолжать работу в непригодной для дыхания среде с использованием дыхательных аппаратов со сжатым воздухом, расположенных в непосредственной близости от своего рабочего места. Необходимо добавить, что основными возможными причинами возникновения пожаров в помещении БЩУ являются загорание электропроводки и контрольно-измерительных приборов вследствие оплавления контактов, коротких замыканий, скачков напряжения в электрической сети.

Спецификой работы оперативного персонала цехов (или отделов), выполняющего вспомогательные или иные функции, является работа в помещениях с высокой температурой, большой протяженностью залов, труднодоступностью проходов к технологическому оборудованию, наличию в помещениях горючих газов (далее – ГГ), легковоспламеняющихся жидкостей (далее – ЛВЖ) и горючих жидкостей (далее – ГЖ), а также размещение оборудования на различных высотах.

При пожарах в помещениях цехов (или отделов) в случаях разгерметизации технологического оборудования возможен выброс ЛВЖ, ГЖ и ГГ, с последующим загоранием и (или) взрывом [27].

Примерный перечень первоочередных работ, выполняемых оперативным персоналом при пожаре на действующем энергоблоке АЭС в России, представлен на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Примерный перечень первоочередных работ, выполняемых оперативным персоналом при пожарах на действующих энергоблоках АЭС

1.3 Анализ действий оперативного персонала атомных электростанций в условиях воздействия опасных факторов пожара

Функции контроля и управления ядерной установкой (ЯУ) на АЭС возложены на оперативный персонал, работающий в круглосуточном сменном режиме, который в случаях возникновения пожаров, угрожающих безопасности станции, обязан в установленном порядке обеспечить безопасный останов, расхолаживание ЯУ и поддержание ее в подкритичном состоянии в период, необходимый для оперативной локализации и успешной ликвидации нештатных ситуаций (или событий) и их последствий. При возникновении пожара, действия оперативного персонала АЭС должны быть в первую очередь направлены на обеспечение безопасного останова и расхолаживания РУ аварийного блока, проведение мероприятий, связанных с ограничением распространения пожара и создание условий для безопасного функционирования АЭС.

Лица оперативного персонала станции, осуществляющие функции контроля и управления РУ аварийного блока, при обнаружении пожара или признаков горения в здании, помещении обязаны:

- немедленно сообщить в объектовое подразделение ФПС по охране АЭС, начальнику смены станции (НСС) информацию о месте возникновения пожара, характере пожара (где, что горит), свою фамилию;
- в пределах своей компетенции в установленном на АЭС порядке принять меры, направленные на обеспечение безопасного останова и расхолаживания РУ, безопасности людей и их эвакуацию, проведению мероприятий, связанных с ограничением распространения пожара и созданий условий для безопасного функционирования блока АЭС.

Лица оперативно-ремонтного персонала станции, при обнаружении пожара или признаков горения в здании, помещении (задымление, запах гари, повышение температуры воздуха и др.) обязаны:

- немедленно сообщить в объектовое подразделение ФПС ГПС по охране АЭС, НСС информацию о месте возникновения пожара, характере пожара (где, что горит), свою фамилию;

– выполнять дальнейшие действия в установленном на АЭС порядке.

Оперативный персонал, участвующий в осуществлении контроля и управления ядерной установкой при пожаре на своем рабочем месте (рабочей зоне), может проводить первичные действия по его тушению в случаях:

– если опасные факторы пожара создают угрозу жизни и здоровью персонала АЭС, находящегося в помещениях систем управления и контроля ядерной установки;

– если опасные факторы пожара создают непосредственную или прямую угрозу потери управления и контроля за состоянием ЯУ.

Анализ развития и ликвидации пожаров на действующих энергоблоках АЭС показывает, что подразделения ФПС ГПС по охране АЭС должны в кратчайшие сроки обеспечить защиту оперативного персонала, осуществляющего контроль и управление РУ от воздействия на них опасных факторов пожара и их последствий, а также обеспечить необходимые условия для безопасного выполнения технологических операций (работ) по останову, расхолаживанию РУ и поддержанию ее в подкритическом состоянии.

Для защиты оперативного персонала от воздействия токсичных продуктов горения, термического разложения и пониженной концентрации кислорода, а также вредных для органов дыхания и зрения человека примесей, превышающих предельно-допустимые концентрации при осуществлении функции контроля и управления РУ, на АЭС России предусмотрено использование дыхательных аппаратов со сжатым воздухом (далее – ДАСВ) [28].

Порядок обеспечения и эксплуатации ДАСВ для защиты оперативного персонала АЭС изложены в локальном нормативном документе АО «Концерн Росэнергоатом» – «Инструкция по организации обеспечения и эксплуатации средств индивидуальной защиты персонала атомных станций при пожаре» [29].

Инструкция устанавливает перечень отдельных технических требований и рекомендаций по изолирующим ДАСВ и самоспасателям (далее – ССП), порядок обеспечения персонала АЭС и иных подразделений концерна ССП и ДА, а также основные требования по организации их безопасного использования.

Инструкция определяет необходимость использования дыхательных аппаратов оперативным персоналом АЭС при выполнении следующих видов работ:

- выполнении при пожарах (или авариях) переключений (или отключений) электроустановок (т. е. оборудования) систем безопасности и приведения в действие систем противопожарной защиты в задымленных (или загазованных) помещениях;
- выполнении работ по спасению пострадавших, их эвакуации из зоны воздействия ОФП и его сопутствующих проявлений, повышенной радиации или загазованной вредными веществами;
- осмотре и/или устранении дефектов в помещениях гермооболочки реакторного отделения или герметичных помещениях зоны контролируемого доступа при наличии в них радиоактивных газов и аэрозолей, превышающих ПДК;
- осмотре и/или производстве ремонтных работ в помещениях, колодцах или емкостях (баках, сосудах) с пониженным содержанием кислорода в воздухе;
- проведении иных мероприятий, связанных с ограничением распространения пожара (аварии) и их последствий, предусматривающих применение дыхательных аппаратов.

Инструкцией предусмотрено, что программа первичного обучения пользователей разрабатывается в объеме руководства по эксплуатации дыхательного аппарата с практической составляющей не менее 4 часов (п. 9.9), а для поддержания квалификации и практических навыков для работы в дыхательном аппарате следует не менее 1 раза в год проходить тренировки в условиях, непригодных для дыхания, с включением в ДАСВ.

В результате проведенного анализа нормативных документов АО «Концерн Росэнергоатом» по организации работы персонала в случаях возникновения пожаров в помещениях АЭС выявлено, что существуют проблемные вопросы, касающиеся в первую очередь обеспечения безопасности оперативного персонала в условиях воздействия ОФП, а именно:

- имеющиеся на АЭС технические средства защиты не в полной мере обеспечивают возможность выполнения работ оперативным персоналом АЭС при возникновении пожаров;

- для выполнения перечня работ оперативным персоналом АЭС в условиях пониженной видимости и непригодной для дыхания среде при пожарах отсутствуют требования к оснащению группы персонала необходимым оборудованием;
- не установлен объем медицинского освидетельствования и аттестации оперативного персонала АЭС (с учетом возрастных критериев) по допуску к работе в дыхательных аппаратах в непригодной для дыхания среде (п. 9.10, 9.13, 9.14 инструкции);
- не проработаны вопросы обучения и подготовки работников из числа оперативного персонала к действиям в случаях возникновения пожаров в помещениях АЭС;
- установленный руководством по эксплуатации порядок проверки работоспособности средств индивидуальной защиты органов дыхания не в полной мере соответствует характеру их использования оперативным персоналом АЭС.

Посетив ряд АЭС, расположенных в центральной части России и проанализировав вопросы обеспечения безопасности оперативного персонала при выполнении их действий в условиях воздействия ОФП можно сделать вывод, что в настоящее время отсутствует единый подход к оснащению персонала техническими средствами, обеспечивающими возможность безопасного выполнения работ при возникновении пожаров. Из имеющихся средств защиты человека от воздействия ОФП на рабочих местах оперативного персонала АЭС находятся только дыхательные аппараты различных производителей. Имеющиеся ДАСВ не унифицированы, хранятся в различных, порой труднодоступных местах щитов управления и отделов (цехов) станций. Многоразовое ежесуточное проведение проверок работоспособности дыхательных аппаратов оперативным персоналом АЭС при заступлении на сменное дежурство приводит к стравливанию воздуха и невозможностью их последующего применения, вывоз на дозаправку, а позднее – выводу из строя его узлов и агрегатов. Одновременно с вышесказанным на проведение проверок ДАСВ и заполнение документации оперативный персонал тратит большое количество времени.

Выводы по первой главе

1. Проведенный анализ пожаров, происшедших на АЭС с реакторами различных типов в России и мире, показал, что наиболее часто пожары возникают в помещениях щитов управления, машинных залах, реакторных отделениях, открытых распределительных устройствах и деаэрационных этажерках. Повышенную опасность пожаров и взрывов на АЭС создают смазочные масла в больших количествах, обращающиеся в производстве при температурах, превышающих температуру самовоспламенения, электрические кабели, объединенные в крупные потоки и имеющие горючую изоляцию, а также водородная система охлаждения турбогенератора.

2. Установлено, что первыми лицами, обнаружившими пожар и проводящими первоначальные действия по его локализации и тушению, проведению эвакуации и спасению людей (при необходимости), сбору сведений о нештатном случае и проведению необходимых технологических операций по переключению (или отключению) оборудования и выведению реакторной установки в подкритическое состояние будут являться лица из числа оперативного персонала АЭС. В целях определения временного периода самостоятельных действий персонала проведен анализ прибытия подразделений ФПС ГПС по охране АЭС к месту вызова. В результате анализа установлен временной период, который может составлять от 2 до 35 минут. Установлены причины длительного прибытия пожарно-спасательных подразделений к месту вызова на территорию АЭС (позднее обнаружение пожара, не своевременное сообщение о пожаре, задержка срабатывания автоматических средств пропуска на территорию АЭС).

3. Детально изучена специфика работы оперативного персонала щитов управления и цехов (или отделов) АЭС. Проведен анализ выполняемых функций оперативным персоналом при возникновении пожаров в помещениях АЭС. В результате проведенного анализа установлено, что спецификой работы персонала является круглосуточная многосменная работа по выработке

электрической энергии. Выявлены проблемные вопросы обеспечения безопасности лиц из числа оперативного персонала АЭС при выполнении действий (определенных инструкциями) в условиях воздействия опасных факторов при пожарах. Установлено, что имеющиеся в помещениях АЭС средства защиты людей при пожаре не в полной мере позволят обеспечить безопасность оперативного персонала.

4. Проанализированы нормативные документы концерна по защите оперативного персонала и его подготовке к действиям в условиях воздействия опасных факторов пожара. Основными проблемными вопросами явились вопросы подготовки и обучения оперативного персонала к действиям при пожарах в помещениях АЭС, медицинского освидетельствования аттестации оперативного персонала по допуску работы в ДАСВ, обеспеченность техническими средствами защиты от опасных факторов пожара и другие.

В результате проведенных анализов и исследований можно сделать вывод о необходимости разработки комплекса технических мероприятий, позволяющих обеспечить на высоком уровне безопасность должностных лиц из числа оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях АЭС, что несомненно скажется на пожарной безопасности всей атомной электростанции.

ГЛАВА 2

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА
В ТИПОВЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ2.1 Выбор и обоснование математической модели развития пожара
и исходных данных для типовых помещений атомных электростанций

Целью проведения расчетов по математическим моделям тепломассообмена при пожаре в данной работе является прогнозирование динамики изменения параметров газовой среды помещения (в первую очередь опасных факторов пожара) для определения их воздействия на оперативный персонал, находящийся в помещениях АЭС.

Основными задачами расчета опасных факторов пожара в помещениях АЭС являются:

- установление критической продолжительности пожара;
- термодинамическая картина пожара (обстановка на пожаре).

Согласно методике [30, 31] в настоящее время существуют различные модели развития пожара: интегральная, зонная, полевая (рисунок 2.1).

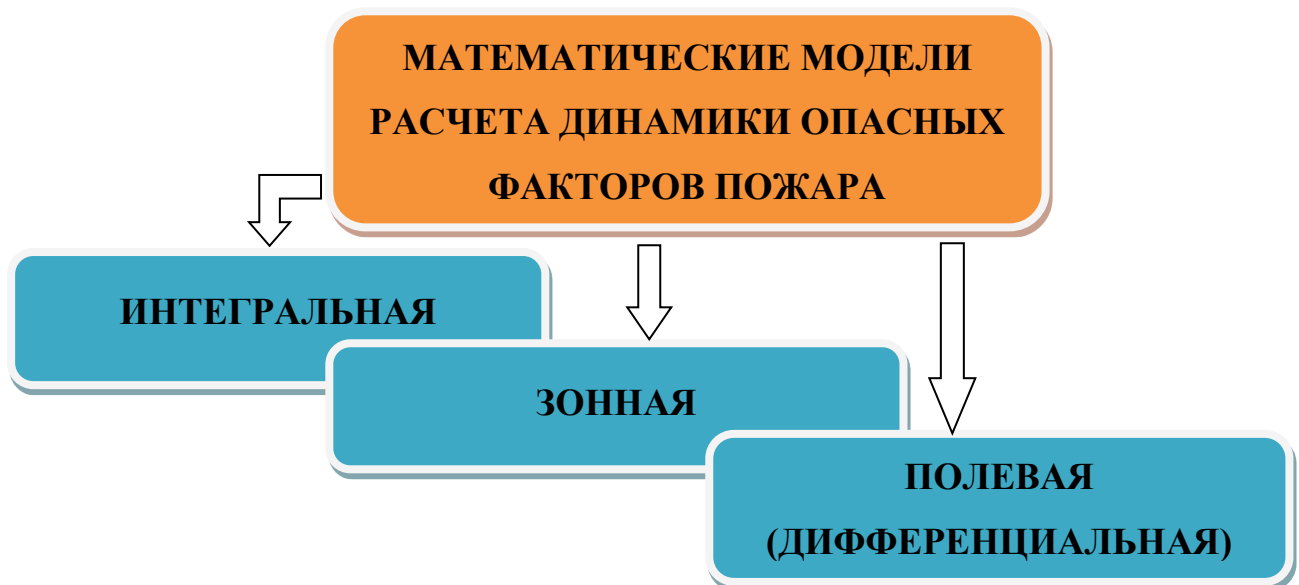


Рисунок 2.1 – Математические модели расчета динамики опасных факторов пожара

Каждая из представленных математических моделей расчета динамики опасных факторов пожара имеет свою область применения. Различие же заключается в различном уровне детализации термогазодинамической картины пожара.

Ниже подробно рассмотрены математические модели развития пожара.

1. Интегральная модель развития пожара.

Интегральная модель развития пожара используется для описания развития пожара на уровне среднеобъемных параметров (температура, плотность, массовые концентрации кислорода, токсичные продукты горения, огнетушащее вещество

и оптическая концентрация дыма, средние температуры ограждающих конструкций, усредненные характеристики теплогазообмена через проемы) (рисунок 2.2).

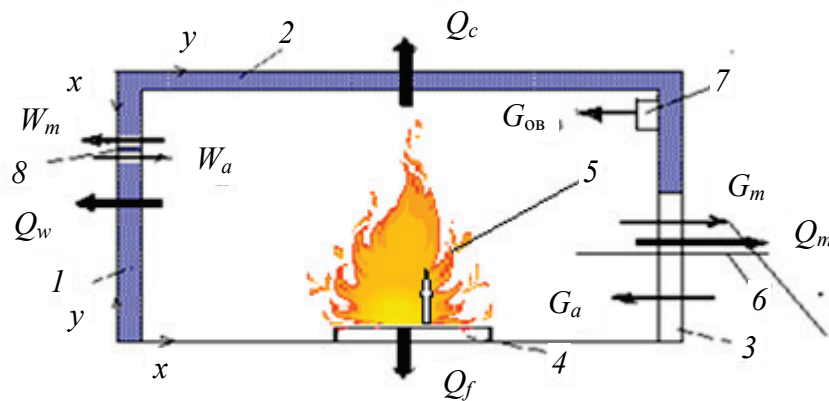


Рисунок 2.2. – Схема тепломассообмена:

- 1 – стены; 2 – перекрытие; 3 – открытый проем; 4 – горючий материал; 5 – очаг горения;
 6 – нейтральная плоскость; 7 – система пожаротушения;
 8 – механическая приточно-вытяжная вентиляция

Моделирование основывается на законе сохранения масс, первом законе термодинамики, и эмпирических зависимостях.

Рассматриваемая математическая модель предназначена для расчета динамики опасных факторов пожара:

– для зданий и сооружений, содержащих развитую систему помещений малого объема простой геометрической конфигурации;

- проведении имитационного моделирования для случаев, когда учет стохастического характера пожара является более важным, чем точное и детальное прогнозирование его характеристик;

- для помещений, где характерный размер очага пожара соизмерим с характерным размером помещения.

Основным преимуществом интегральной модели развития пожара является быстрый и низкотрудоемкий расчет динамики опасных факторов пожара.

Основным недостатком является необходимость использования дополнительной экспериментальной информации или моделей более высокого уровня (зонные или полевые) для получения распределения параметров тепломассообмена по объему помещения.

Интегральную модель развития пожара используют только в помещениях высотой до 6 метров [32]. Практическое использование программ, основанных на интегральной модели показывает, что получаемые значения являются среднеобъемными величинами, которыми в полной мере невозможно описать термогазодинамическую картину пожара. В связи с вышесказанным можно сделать вывод, что проектировать помещения, имеющих высоту более 6 метров, с использованием интегральной модели является нецелесообразным.

2. Зонная модель развития пожара.

При расчетах с использованием зонной модели развития пожара исследуемый объем разбивается на зоны. Наиболее популярной и используемой при расчетах является трехзонная модель (рисунок 2.3), в которой выделяют следующие зоны:

- припотолочного дымового слоя;
- конвективной колонки;
- холодного воздуха.

В пределах каждой из зон газовая среда описывается на уровне усредненных параметров.

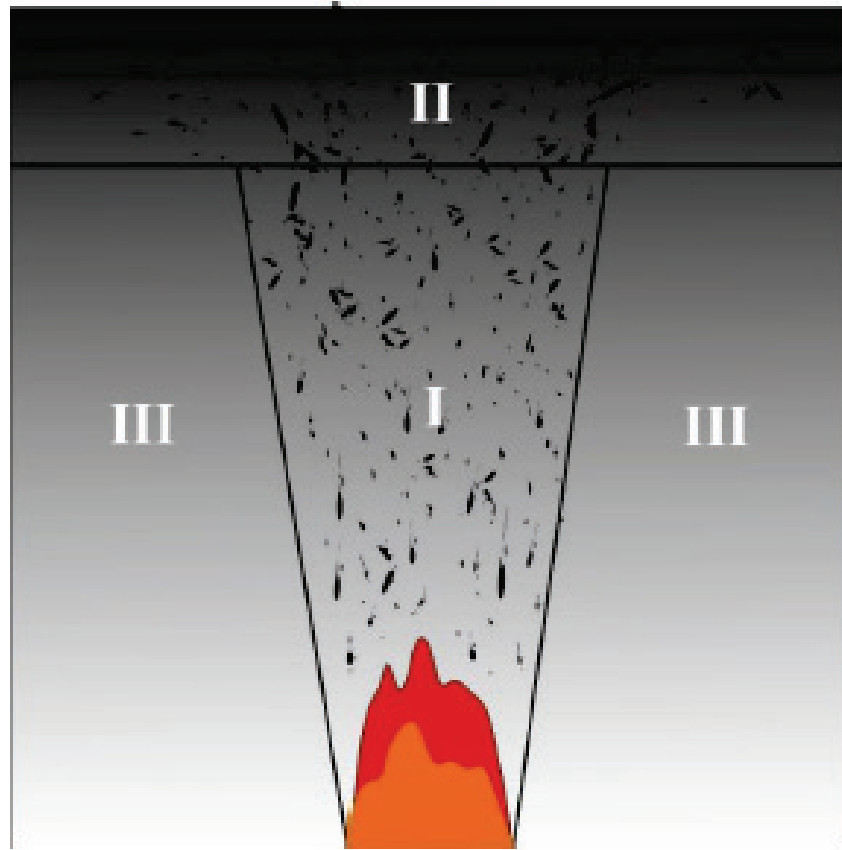


Рисунок 2.3 – Схема зон зонной модели развития пожара [33]:

I – зона конвективной колонки; II – зона припотолочного дымового слоя;
III – зона холодного воздуха

К основным преимуществам зонной модели относятся:

- быстрый и низкотрудоемкий расчет динамики опасных факторов пожара;
- используются закономерности теплового и гидродинамического взаимодействия струйного течения со строительными конструкциями с условным разбиением на характерные области (критическая точка, область ускоренного течения, переходная область и область автомодельного течения).

К недостаткам модели можно отнести:

- необходимость использования дополнительной экспериментальной информации или модели более высокого уровня (полевой модели) для получения распределения параметров теплообмена по объемам зон помещения;
- в случае сложной термогазодинамической картины пожара основные допущения зонной модели (равномерно прогретый припотолочный слой и т. д.) не соответствуют реальным условиям.

Зонную математическую модель используют для расчета динамики опасных факторов пожара:

- помещений и систем помещений простой геометрической конфигурации, линейные размеры которых соизмеримы между собой;
- для помещений большого объема, когда размер очага пожара существенно меньше размеров помещения;
- для рабочих зон, расположенных на разных уровнях в пределах одного помещения (наклонный зрительный зал кинотеатра, антресоли и т. д.).

3. Полевая (дифференциальная) модель развития пожара.

Полевая (дифференциальная) модель развития пожара основывается на вычислении гидродинамики (*computational fluid dynamics – CFD*), при этом исследуемый объем делится на ряд элементарных объемов с конечными размерами (метод конечных элементов). Полевые (дифференциальные) модели дают наиболее подробное описание процессов тепломассообмена при пожаре в помещениях. Основным их достоинством является то, что искомыми параметрами являются поля температур, скоростей, давлений, концентраций компонентов газовой среды и частиц дыма по всему объему помещения.

Полевые модели наиболее сложны в математическом описании, так как они состоят из системы трех или двумерных нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных.

Полевая (дифференциальная) модель применяется в целях расчета динамики развития опасных факторов пожара для:

- помещений сложной геометрической конфигурации, а также помещений с большим количеством внутренних преград (атриумы с системой галерей и примыкающих коридоров, многофункциональные центры со сложной системой вертикальных и горизонтальных связей и т. д.) [34];
- помещений, в которых один из геометрических размеров гораздо больше (меньше) остальных (тоннели, закрытые автостоянки большой площади и т. д.);
- для иных случаев, когда применимость или информативность зонных и интегральных моделей вызывает сомнение (уникальные сооружения, распространение пожара по фасаду здания, необходимость учета работы систем противопожарной защиты, способных качественно изменить картину пожара, и т. д.).

Полевая (дифференциальная) модель развития пожара чаще всего применяется в научных и прикладных исследованиях в связи с развитием электронно-вычислительной техники и программного обеспечения, которые позволяют использовать сложный алгоритм для проведения расчетов. Уравнения, используемые в полевой модели развития пожара, представляют собой дифференциальные уравнения, решение которых без использования современного персонального компьютера представляет собой практически невыполнимую задачу, в этой связи для моделирования пожара по полевой модели пожара необходимо использовать современные программные комплексы, реализующие данную модель.

Из числа современных программных комплексов, реализующих полевую модель развития пожара, используемых в мировой практике, необходимо отметить такие, как *FLUENT*, *COMSOL*, *Multiphysics*, *ANSYS CFX*, *STAR-CD*. К специализированным программным комплексам можно отнести следующие комплексы:

- *Fire Dynamics Simulator* (далее – *FDS*) [35],
- *PHOENICS* [36],
- SOFIE* [37],
- SMARTFIRE*
- *JASMINE*,
- *KOBRA-3D*

и другие программы, разработанные профессором Академии ГПС МЧС России, доктором технических наук С.В. Пузачем [38–40].

Одним из приоритетных программных пакетов для персонального компьютера является *FDS*. Данный программный комплекс реализует расчет по полевой модели развития пожара. Программный комплекс *FDS* находится в свободном доступе и ежегодно дорабатывается и обновляется, он прошел валидацию [41] и верификацию [42] в различных научно-исследовательских организациях мира, исследующих вопросы развития пожара. Исследования, проводимые с помощью *FDS*, представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Апробация программного комплекса *FDS*

Страна	Научно-исследовательские организации	Исследуемый параметр
США	Государственный институт стандартизации и технологического регулирования	Высота пламени
		Скорость движения воздуха, газовой смеси
	ООО «Научно-исследовательский прикладной центр горения»	Турбулентность при моделировании
Великобритания	Научно-исследовательский институт пожарной охраны	Температура активации автоматических установок спринклерного пожаротушения, температура газа в притолочном слое
Финляндия	Отдел строительства зданий и транспортных систем. Государственный технический научно-исследовательский центр Финляндии	Теплопередача излучением
Китай	Отдел эксплуатации зданий, Политехнический университет Гонконга	Температура

Соответствие программного комплекса *FDS* методикам [30, 31] не вызывает сомнения, потому как требуемые уравнения (сохранение массы, импульса, энергии, химических компонентов), необходимые для реализации полевой модели, согласно техническому руководству *Fire Dynamics Simulator (Version 6)* [43], используются в качестве основополагающих:

уравнение сохранения массы:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0; \quad (2.1)$$

уравнение сохранения импульса:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i; \quad (2.2)$$

уравнение сохранения энергии:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j h) = \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\lambda}{c_p} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial q_j^R}{\partial x_j}; \quad (2.3)$$

уравнение сохранения химического компонента k :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j Y_k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\rho D \frac{\partial Y_k}{\partial x_j} \right) + S_k. \quad (2.4)$$

Для замыкания системы уравнений (представленных выше) используется уравнение состояния идеального газа. Для смеси газов оно имеет вид:

$$p = \rho R_0 T \sum_k \frac{Y_k}{M_k}, \quad (2.5)$$

где R_0 – универсальная газовая постоянная; M_k – молярная масса k -го компонента.

В результате проведенного анализа моделей расчета динамики опасных факторов пожара можно сделать вывод, что полевая (дифференциальная) модель развития пожара является наиболее приемлемой при моделировании пожара в типовых помещениях АЭС (щиты управления и машинного зала). Для определения развития пожара в типовых помещениях АЭС будет использован программный комплекс *FDS*.

2.2 Прогноз развития опасных факторов пожара в типовых помещениях атомных электростанций с реактором большой мощности канальным

В процессе выполнения научных исследований решался вопрос выбора и обоснования типа АЭС для проведения расчетов динамики развития пожара в типовых помещениях станции, а также влияния опасных факторов пожара на оперативный персонал. Для этого автором настоящего исследования был проведен анализ действующих АЭС России и определен срок эксплуатации реакторных установок различных типов (таблица 2.2).

В результате проведенного анализа установлено, что АЭС с реакторами большой мощности канальным (РБМК) эксплуатируются в среднем 38 лет и являются самыми старыми в России, в этой связи их можно отнести к группе риска по возможности возникновения пожаров на технологических установках и помещениях различного назначения.

Таблица 2.2 – Анализ действующих атомных станций России по типу реакторной установки и срокам эксплуатации энергоблоков

№ п/п	Наименование АЭС, расположение	Количество энергоблоков, (шт.), тип РУ	Год запуска энергоблоков	Средний возраст РУ, лет	Средний возраст РУ, лет
Атомные станции с водо-водяным реактором (ВВЭР)					
1	Балаковская АЭС г. Балаково Саратовской обл.	4 (ВВЭР-1000)	I – 28.12.1985 II – 08.10.1987 III – 24.12.1988 IV – 11.04.1993	30	25 лет
2	Калининская АЭС г. Удомля Тверской обл.	4 (ВВЭР-1000)	I – 09.05.1984 II – 11.12.1986 III – 16.12.2004 IV – 24.11.2011	22	
3	Кольская АЭС г. Полярные зори Мурманской обл.	4 (ВВЭР-440)	I – 29.06.1973 II – 08.12.1974 III – 24.03.1981 IV – 11.10.1984	40	
4	Нововоронежская АЭС г. Нововоронеж Воронежской обл.	3 (ВВЭР-440, ВВЭР-1000, ВВЭР-1200)	I – 28.12.1972 II – 31.05.1980 III – 05.08.2016	29	
5	Ростовская АЭС г. Волгодонск Ростовской обл.	4 (в эксплуатации – 3 ВВЭР-1000)	I – 30.03.2001 II – 16.03.2010 III – 27.12.2014	6	
Атомные станции с реактором большой мощности канальным (РБМК)					
1	Билибинская АЭС г. Билибино Чукотский АО	4 (ЭГП-6)	I – 12.01.1974 II – 30.10.1974 III – 22.12.1975 IV – 27.12.1976	43	38 лет
2	Курская АЭС г. Курчатова Курской обл.	4 (РБМК-1000)	I – 19.12.1976 II – 28.01.1979 III – 17.10.1983 IV – 02.12.1985	37	
3	Ленинградская АЭС г. Сосновый Бор Ленинградской обл.	4 (РБМК-1000)	I – 21.12.1973 II – 11.07.1975 III – 07.12.1979 IV – 09.12.1981	41	

Окончание таблицы 2.2

4	Смоленская АЭС г. Десногорск Смоленской обл.	3 (РБМК-1000)	I – 09.12.1982 II – 31.05.1985 III – 17.01.1990	32	38 лет
Атомные станции с реактором на быстрый нейтронах (БН)					
1	Белоярская АЭС г. Заречный Свердловской обл.	4 (в эксплуатации – 3: БН-600, БН-800)	III – 08.04.1980 IV – 10.12.2015	20,5	20,5

В дополнении к этому необходимо отметить, что крупнейшая по своим масштабам катастрофа произошла на Чернобыльской АЭС, где эксплуатировались реакторы типа РБМК-1000. В этой связи дальнейшие исследования целесообразно проводить на атомной станции с реактором большой мощности канальным.

2.2.1 Прогноз развития опасных факторов пожара на блочном щите управления атомной электростанций с реактором большой мощности канальным

В качестве объекта исследования выбрано помещение блочного щита управления АЭС с типом реактора РБМК-1000 и размерами 84×13,050×6,0 м.

Внутренний объем блочного щита управления АЭС приведен на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Блочный щит управления АЭС

а – вид на оперативные панели, *б* – конфигурация блочного щита управления АЭС

В качестве источника пожара определены «Радиоматериалы (полиэтилен, полистирол, пропилен, гетинакс)» [44]. В таблице 2.3 приведены параметры источника пожара.

Таблица 2.3 – Параметры источника пожара

Параметр	Единица измерения	Описание	Значение
<i>Справочные данные [44]</i>			
H_f	МДж/кг	Низшая теплота сгорания	34,8
ν	м/с	Линейная скорость распространения пламени	0,0137
ψ	кг/м ² с	Удельная массовая скорость выгорания	0,0177
D_m	Нпм ² /кг	Дымообразующая способность	381
L_{O_2}	кг/кг	Потребление кислорода	3,312
L_{CO_2}	кг/кг	Выделение углекислого газа	0,764
L_{CO}	кг/кг	Выделение угарного газа	0,1
L_{HCl}	кг/кг	Выделение хлористого водорода	0,0073
<i>Рассчитанные данные для FDS</i>			
HRR	кВт/м ²	Мощность тепловыделения с 1 м ² источника $HRR = H_f \eta \psi \cdot 1000$ Коэффициент полноты сгорания принят $\eta = 0,93$	573
ν	м/с	Линейная скорость распространения пламени	0,0137
X	—	Количество атомов углерода в химической формуле топлива	1,8
Y	—	Количество атомов водорода в химической формуле топлива	33,3
Z	—	Количество атомов кислорода в химической формуле топлива	2,0
Cl	—	Количество атомов хлора в химической формуле топлива	0,018
Y_s	кг/кг	Количество топлива, идущее на производство сажи	0,044
Y_{CO}	кг/кг	Количество топлива, идущее на производство угарного газа	0,016

На рисунке 2.5 представлена модель помещения блочного щита управления, с указанием очага пожара и расстановкой расчетных точек.

В таблице 2.4 представлены данные, полученные в ходе проведения расчетов развития опасных факторов пожара (критические времена по достижению опасными факторами пожара величины их критических значений для людей на уровне рабочей зоны).

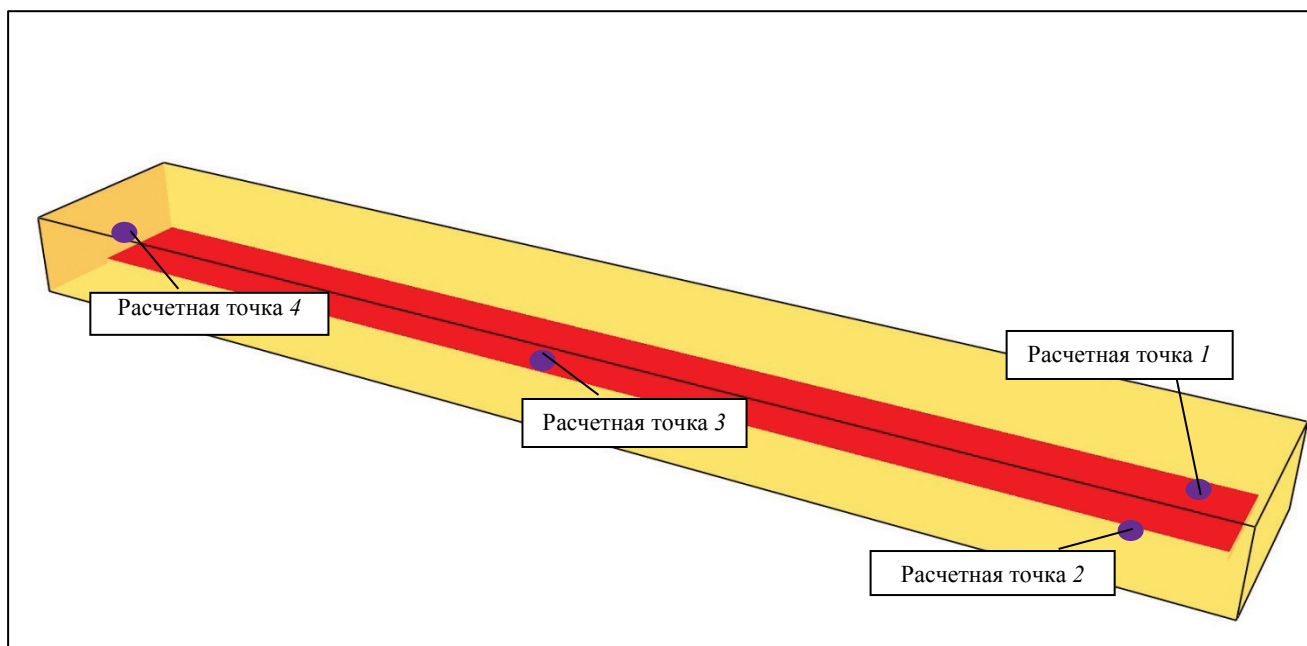


Рисунок 2.5 – Модель помещения БЦУ, с указанием очага пожара и расстановкой расчетных точек

Таблица 2.4 – Критические времена по достижению опасными факторами пожара величины их критических значений для людей на уровнях рабочей зоны

Номер расчетной точки	По повышенной температуре – 70 °С	По потере видимости – 20 м	По повышенному содержанию CO ₂ – 0,11 кг/м ³	По повышенному содержанию СО – 0,00116 кг/м ³	По пониженному содержанию O ₂ – 0,226 кг/м ³	По повышенному содержанию HCl – 2,3·10 ⁻⁵ кг/м ³	Время минимального наступления, с
Расчетная точка 1	332	192	>1000	820	512	326	192
Расчетная точка 2	340	208	>1000	836	531	340	208
Расчетная точка 3	368	277	>1000	851	620	386	277
Расчетная точка 4	326	197	>1000	839	519	328	197

Результаты проведенных расчетов при горении радиоматериалов на площади 1 м² в помещении БЦУ представлены на рисунках 2.6–2.10.

Временной критический показатель потери видимости (менее 20 м) на уровне рабочей зоны для зального помещения БЦУ в расчетной точке 1 (вход в помещение щита) составит примерно 3,2 минуты с момента начала пожара.

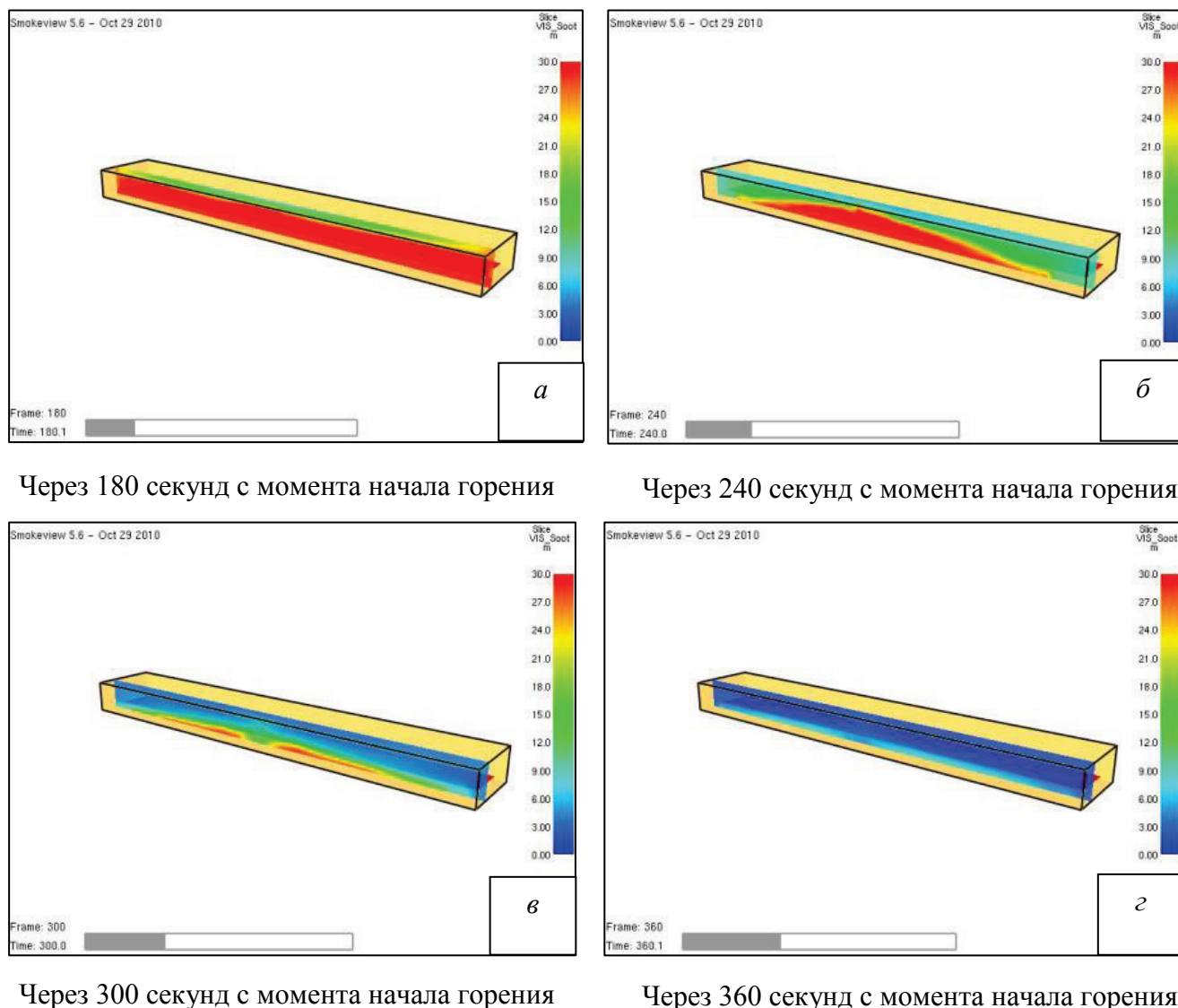


Рисунок 2.6 – Фрагменты полей массовой концентрации продуктов горения

Уже через 5–6 минут с момента возникновения пожара видимость на уровне рабочей зоны будет равна пяти и менее метров.

Определению критической задымленности (критическая видимость при задымлении) посвящен целый ряд исследований. Авторы этих исследований в качестве параметра, характеризующего предельную видимость, принимали такие различные физические величины, как освещенность на путях эвакуации [45, 46], яркость и контрастность наблюдаемых объектов [47], дальность видимости [48–54], оптическую плотность и показатель ослабления задымленной среды [55]. Такие

различные взгляды говорят об отсутствии единого подхода по определению критической видимости в дыму, хотя в контексте рассматриваемых вопросов предложенные критерии каким-либо образом связаны между собой. В зависимости от параметров помещения, геометрии эвакуационных путей и выходов, возможно обсуждать некоторую допустимую дальность видимости – как минимальное расстояние, при котором видимость позволяет обеспечивать уверенное движение эвакуирующихся людей на протяжении всего отрезка эвакуационного пути. Эта величина определяется достаточно просто (как расстояние между двумя наиболее удаленными друг от друга соседними ориентирами, задающими прямолинейный отрезок пути на одном из маршрутов), физична и конкретна для каждого помещения. Именно поэтому наибольшее число выполненных работ показывает, что именно снижение дальности видимости до минимально допустимой рассматривается как критерий наступления опасности. Также отмечено, что существует абсолютный минимум дальности видимости, ниже которого возможны проявления эмоциональной неустойчивости у людей и возникновение паники. Экспериментальные данные [56] показали, что только 30 % людей преодолевали задымленный участок длиной более 9 метров, при знакомом пути эвакуации – преодолевали участок в 15 метров.

В работах [55, 57] рекомендуются критические значения показателя ослабления среды, равные $0,15 \text{ Нп} \cdot \text{м}^{-1}$ (для людей, не знакомых с путями эвакуации); $0,5 \text{ Нп} \cdot \text{м}^{-1}$ (для людей, знакомых с путями эвакуации) и $0,3 \text{ бел}^{-1}$. Пересчет данных значений по приводимым в рассматриваемых работах формулам дает, соответственно, 15, 4,6 и 9,2 метров. Согласно работам [50, 51] требуемая для безопасной эвакуации минимальная дальность видимости составляет приблизительно 10 метров; согласно исследованиям [52] – от 15 до 20 метров, согласно публикации [54] – 20 метров.

Противоречивость данных затрудняет проведение анализа, однако можно сделать вывод, что при дальности видимости более 20 метров психологической неустойчивости у людей не возникает. Подведя итог определения критической видимости в дыму можно сделать вывод, что обеспечение минимально допустимой дальности видимости является необходимым условием безопасной эвакуации персонала объектов при пожаре [58].

На рисунке 2.7 представлены показатели роста содержания хлороводорода в воздухе помещения БЦУ.

Хлороводород, хлористый водород (HCl) — газ с резким запахом, легко растворяется в воде с образованием соляной кислоты. Взаимодействует со щелочными металлами [59]. Вдыхание хлороводорода может привести к кашлю, удушью, воспалению носа, горла и верхних дыхательных путей, а в тяжелых случаях, наблюдается отек легких, нарушение работы кровеносной системы, приводящее в конечном итоге к смертельному исходу. Контактируя с кожей, может вызывать покраснение, боль и серьезные ожоги. Хлористый водород может вызвать серьезные ожоги глаз и их необратимое повреждение.

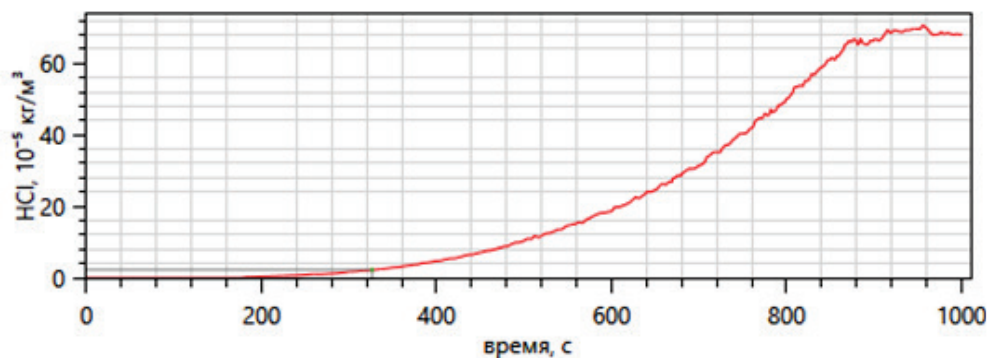


Рисунок 2.7 – Увеличение концентрации хлороводорода (HCl) в расчетной точке 1 помещения БЦУ, критический показатель – 326 с

На рисунке 2.8 представлены показатели роста содержания монооксида углерода (угарный газ) в воздухе помещения БЦУ.

Монооксид углерода (CO) (угарный газ, окись углерода, оксид углерода (II)) – бесцветный чрезвычайно токсичный газ без вкуса и запаха, легче воздуха (при нормальных условиях). Горит синим пламенем [60]. Угарный газ очень опасен, так как не имеет запаха и вызывает отравление и даже смерть. Признаки отравления: головная боль и головокружение; отмечается шум в ушах, одышка, учащенное сердцебиение, мерцание перед глазами, покраснение лица, общая слабость, тошнота, иногда рвота; в тяжелых случаях судороги, потеря сознания, кома.

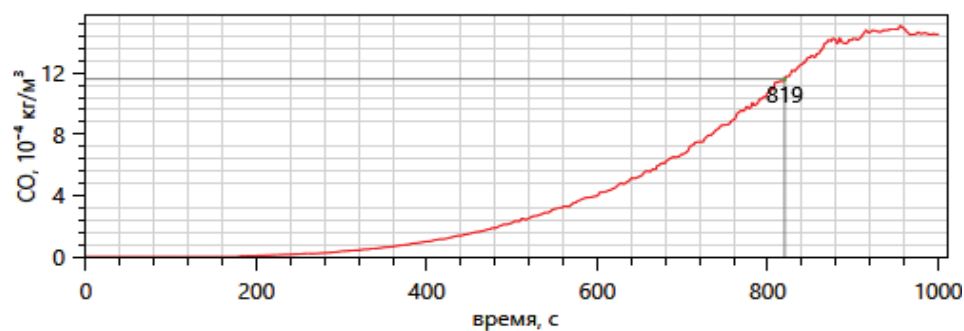


Рисунок 2.8 – Увеличение концентрации монооксида углерода (CO) в расчетной точке 1 помещения БЦУ, критический показатель – 819 с

На рисунке 2.9 представлен показатель снижения кислорода в воздухе в расчетной точке 1.

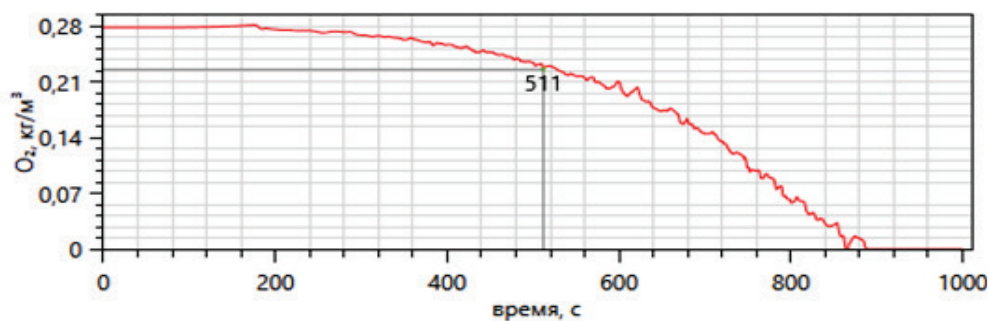


Рисунок 2.9 – Понижение концентрации кислорода (O_2) в воздухе в расчетной точке 1 помещения БЦУ, критический показатель – 512 с

На рисунке 2.10 представлены поля абсолютной температуры с момента возникновения пожара.

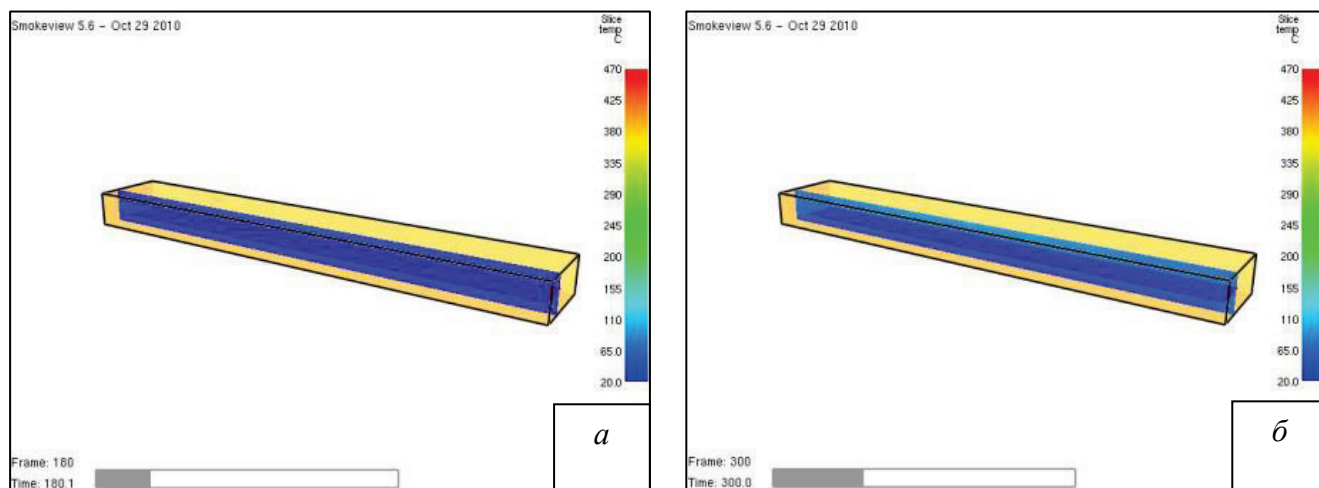


Рисунок 2.10 – Фрагменты полей абсолютной температуры в помещении БЦУ АЭС:

а – поля абсолютной температуры через 180 секунд после начала горения;

б – поля абсолютной температуры через 300 секунд после начала горения

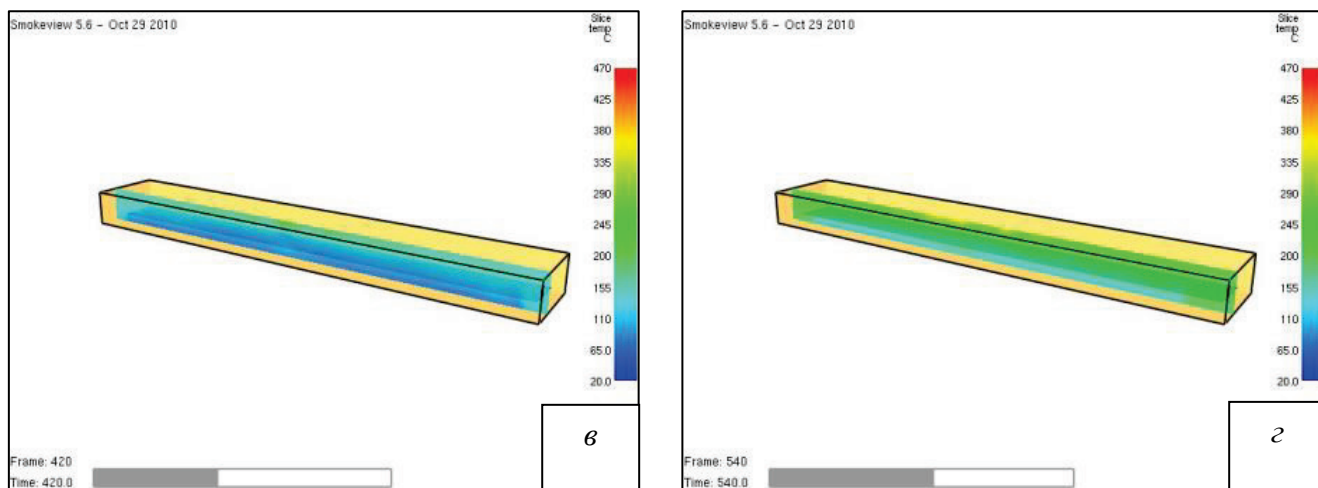


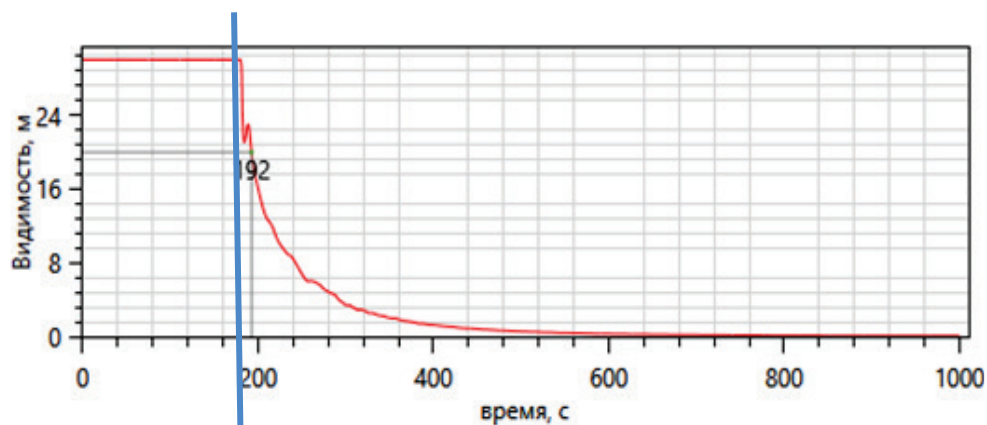
Рисунок 2.10 – Окончание:

в – поля абсолютной температуры через 420 секунд после начала горения;

з – поля абсолютной температуры через 540 секунд после начала горения

Расчеты динамики развития возможного пожара на БЩУ АЭС с реактором типа РБМК-1000 показали следующее:

1. Наиболее вероятным источником пожара является горение радиоматериалов. Потеря видимости (менее 20 м) в помещении БЩУ наступает через 3 минуты с момента возникновения пожара (рисунок 2.11).



– До наступления критической величины показателя необходимо провести эвакуацию людей

– Для проведения работ в условиях пониженной видимости, освещения рабочего места персонала необходимо использовать индивидуальные и групповые фонари

Рисунок 2.11 – Критический показатель по потере видимости

Прибытие к этому времени подразделений ФПС ГПС по охране АЭС и начало действий по тушению пожара при данных сценариях развития пожара

маловероятно. Тушение очага пожара в начальной его стадии развития целесообразно проводить оперативному персоналу имеющимися на БЩУ первичными средствами пожаротушения.

2. Динамика развития пожара на БЩУ показывает, что уровень содержания вредных и токсичных веществ в воздухе через 6 минут достигнет критического предела. В этом случае оперативный персонал БЩУ должен использовать ДАСВ для защиты органов дыхания и зрения при выполнении работ по контролю за состоянием РУ (рисунок 2.12).

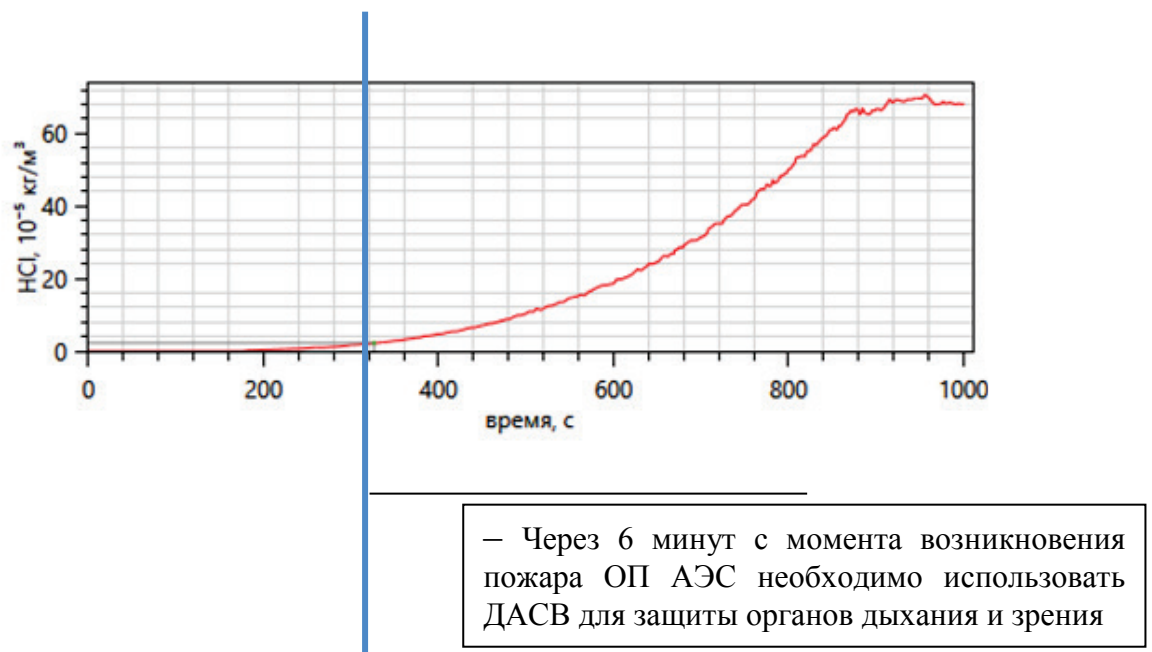
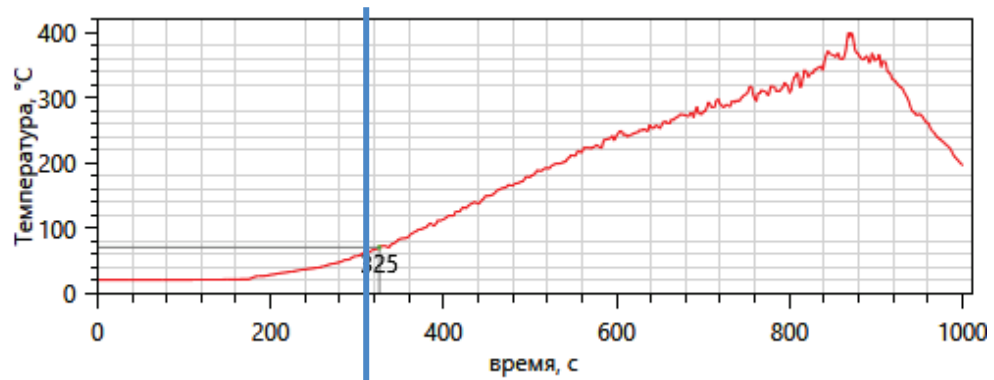


Рисунок 2.12 – Временная граница наступления критического уровня содержания хлороводорода в воздухе помещении БЩУ АЭС

3. Уровень абсолютной температуры на уровне рабочей зоны в помещении БЩУ уже через 5,5 минут после начала горения приблизится к отметке 70 °С и в дальнейшем будет неуклонно расти. Через 9 минут он составит порядка 140–160 °С. В этой связи оперативный персонал должен применять средства защиты тела человека от воздействия высокой температуры, искр, теплового потока, открытого пламени раскаленных предметов (рисунок 2.13).



– Через 5,5 минут с момента возникновения пожара температура воздуха на уровне рабочей зоны составит 70 °C. Работа при данной температуре (и выше) возможна только в средствах защиты туловища человека

Рисунок 2.13 – Временная граница наступления критического показателя абсолютной температуры на уровне рабочей зоны в помещении БЦУ АЭС

4. В случае, если принятые оперативным персоналом АЭС мероприятия по тушению пожара не привели к успеху, то возможно дальнейшее распространение пожара по кабелям и электронному оборудованию БЦУ. Также возможен выход из строя элементов контрольно-измерительных приборов при достижении уровня их расположения прогретым слоем продуктов горения. Дальнейшее развитие пожара в условиях отсутствия видимости приведет к прогреву и общей вспышке горючих материалов на БЦУ уже через 900–1200 секунд.

5. В случаях развития пожара на БЦУ пребывающим пожарным подразделениям необходимо принять меры по защите оперативного персонала, осуществляющего контроль и управление РУ от воздействия опасных факторов пожара. При невозможности выполнять дальнейшие работы на БЦУ необходимо использовать резервный щит управления.

2.2.2 Прогноз развития опасных факторов пожара в помещении машинного зала атомной электростанции с реактором большой мощности канальным

На рассматриваемой АЭС эксплуатируются три энергоблока с реакторами РБМК-1000. Три энергоблока станции имеют общий машинный зал длиной 654 метра, шириной 51 метр и высотой около 33 метров. Повышенную пожарную опасность станции создают:

- смазочные масла, обращающиеся в производстве при температурах выше 200 °С, превышающую температуру самовоспламенения;
- электрические кабели, объединенные в крупные потоки и имеющие горючую изоляцию;
- водород, используемый в системе охлаждения генератора.

Пожарная опасность турбогенератора обусловлена повышенным давлением масла в системах регулирования, повышенной температурой паропроводов, корпуса и паровых каналов. Возгорание масла происходит тогда, когда при разрушении или ослаблении из-за вибрации масляных трубопроводов масло вытекает или разбрызгивается из них на горячие участки паропроводов. При возгорании масла, вытекающего из поврежденных маслосистем, обстановка осложняется проникновением его через неплотности технологических проемов на нижерасположенные отметки. Образующиеся горящие факелы и мощные конвективные тепловые потоки быстро нагревают элементы металлических ферм до критической температуры, что приводит к обрушению строительных конструкций. Подающие фермы и плиты покрытия ещё больше разрушают масляные коммуникации.

Развитие пожаров в машинных залах электростанций в большей степени зависит от характера возникновения горения (взрыв, воспламенение паров масла, замыкание электропроводки и другие). Интенсивное развитие горения веществ и материалов возможно при взрывах водорода, паров масляных емкостях, при разрыве маслопроводов и разливе масла. Одновременно с горением возникает большое количество очаговых повреждений систем соседних генераторов и турбин, кроме того выделяется большое количество дыма и помещения быстро

задымляются, что часто не позволяет оперативному персоналу произвести все необходимые операции по инструкции и обеспечить постоянный контроль за работой других агрегатов. Сложность обстановки на пожаре при горении масла заключается в том, что емкости маслосистем, маслопроводы, насосы расположены на нулевой отметке, где и происходит горение растекающегося масла, тогда как генераторы, турбины со всеми приборами контроля и управления располагаются на отметках 8–10 м, т.е. в зоне действия дыма и пламени. Максимальная скорость роста площади горения на имевших место пожарах достигала 25 м²/мин.

В качестве примера пожара в помещении машинного зала можно рассмотреть пожар, произошедший на Новосибирской ТЭЦ. Произошел разрыв маслопровода у турбины блока мощностью 60 МВт, находившегося под нагрузкой. Растекающееся масло попало на паропровод и воспламенилось. Перекрыть маслопроводы удалось на четвертой минуте, однако масло продолжало вытекать еще 20 минут, так как вал генератора (после отключения его) вращался по инерции, а вместе с этим работал и маслонасос. В результате из системы вытекло несколько тонн масла, образовав в центре зала очаг горения площадью 150 м². Горящее масло через неплотности и отверстия в перекрытие проникло в кабельные каналы. Помещение машинного зала было задымлено по истечении 5 минут, а через 8–10 минут от действия пламени струи горящего масла произошло частичное обрушение покрытия. На 20–25 минутах горение по кабелям распространилось в полуэтаж, котельную и через незащищенные отверстия в перекрытии на блочный пульт управления. Создалась угроза распространения горения в кабельные туннели и другие помещения станции [61].

В качестве другого примера можно привести пожар, произошедший в 2015 г. в машинном зале Василеостровской теплоэлектроцентрали (г. Санкт-Петербург). Пожар развивался столь стремительно, что было принято решение об отключении всей теплоэлектроцентрали, включая подачу газа. В первые минуты пожара столб огня достигал порядка 30 метров, однако соседние турбины не пострадали. Огонь бушевал в машинном зале котлотурбинного цеха на площади четырехста квадратных метров. На момент возгорания в помещении машинного зала находились

приблизительно сто человек. В машинном зале частично обрушилась крыша на площади в 200 м². Существовала вероятность разрушения стен здания. Вероятной причиной возникновения пожара явилось возгорание машинного масла под турбиной.

Для ликвидации пожара привлекалось 154 человека личного состава и 42 единицы техники МЧС России [62].

В качестве объекта исследования (для оценки развития опасных факторов пожара) выбрано помещение машинного зала АЭС с реактором типа РБМК-1000 (длина 654 метра, ширина 51 метр и высота порядка 33 метров. Внутренний объем машинного зала приведен на рисунке 2.14).

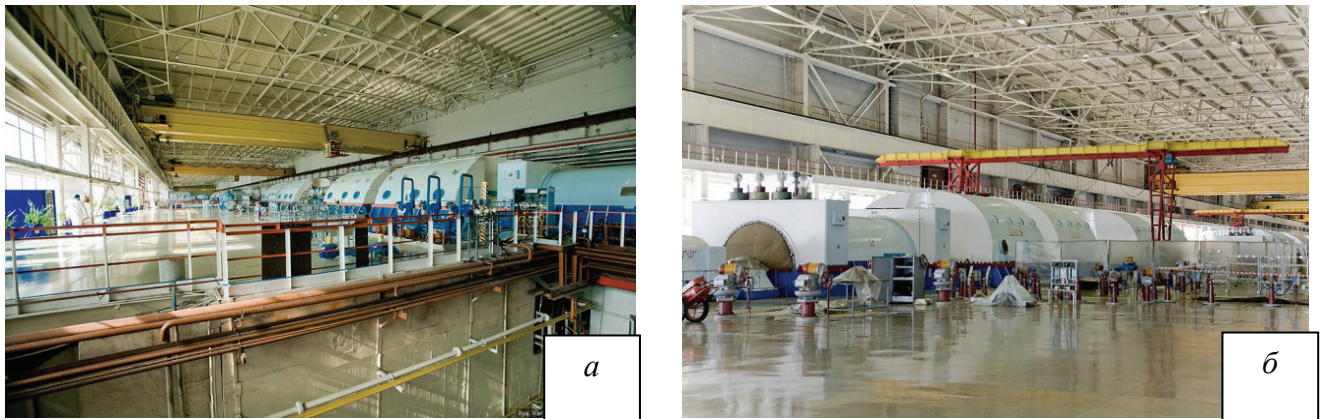


Рисунок 2.14 – Машинный зал АЭС с реактором типа РБМК-1000:

а – общий вид машинного зала АЭС, *б* – турбогенератор АЭС на отметке +10,000 м

В качестве источника пожара рассмотрено горение турбинного масла марки ТП-22 (температура вспышки – 186 °С) [63]. В таблице 2.5. приведены параметры источника пожара.

Таблица 2.5. Параметры источника пожара

Параметр	Единица измерения	Описание	Значение
<i>Справочные данные [44]</i>			
H_f	МДж/кг	Низшая теплота сгорания	41,9
ν	м/с	Линейная скорость распространения пламени	–
ψ	кг/м ² с	Удельная массовая скорость выгорания	0,03
<i>Справочные данные [44]</i>			
D_m	Нпм ² /кг	Дымообразующая способность	243
L_{O_2}	кг/кг	Потребление кислорода	0,282

Окончание таблицы 2.5

Параметр	Единица измерения	Описание	Значение
L_{CO_2}	кг/кг	Выделение углекислого газа	0,7
L_{CO}	кг/кг	Выделение угарного газа	0,122
L_{HCl}	кг/кг	Выделение хлористого водорода	–
<i>Рассчитанные данные для FDS</i>			
HRR	кВт/м ²	Мощность тепловыделения с 1 м ² источника $HRR = H_f \eta \psi \cdot 1000$ Коэффициент полноты сгорания принят $\eta = 0,93$	1257
ν	м/с	Линейная скорость распространения пламени	–
X	–	Количество атомов углерода в химической формуле топлива	6,9
Y	–	Количество атомов водорода в химической формуле топлива	14,6
Z	–	Количество атомов кислорода в химической формуле топлива	12,9
Cl	–	Количество атомов хлора в химической формуле топлива	–
Y_s	кг/кг	Количество топлива, идущее на производство сажи	0,044
Y_{CO}	кг/кг	Количество топлива, идущее на производство угарного газа	0,016

На рисунке 2.15 представлена модель помещения машинного зала с указанием очага пожара и расположением расчетных точек.

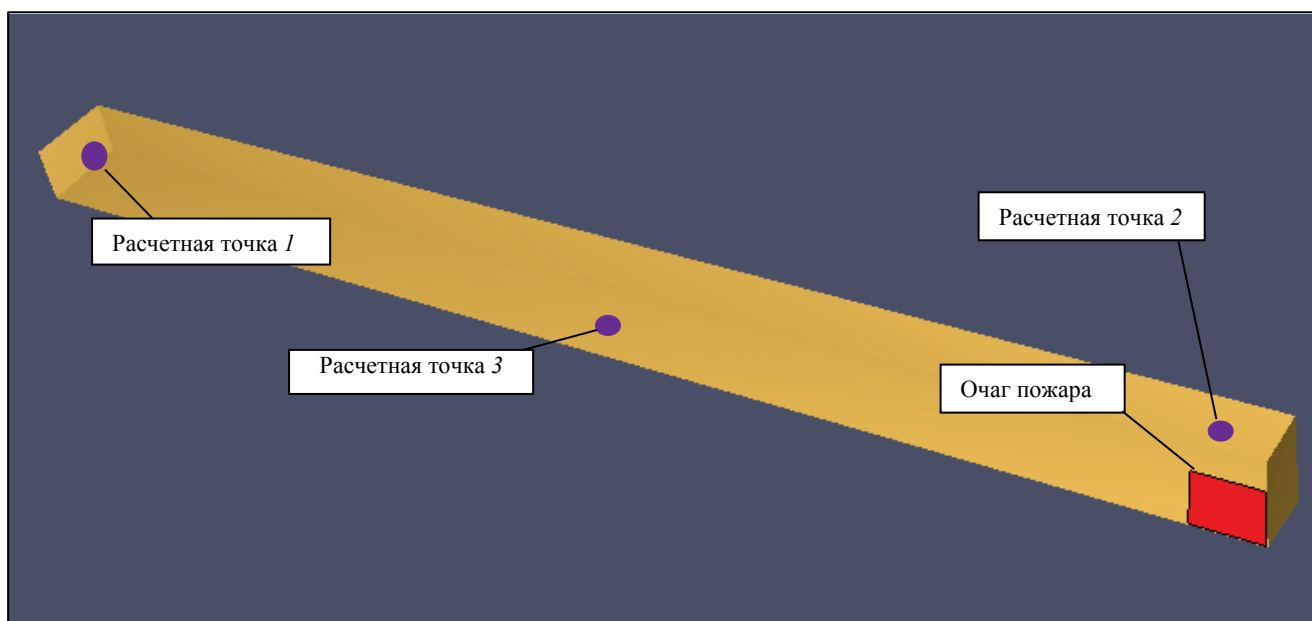


Рисунок 2.15 – Модель помещения машинного зала с указанием очага пожара и расстановкой расчетных точек

Очаг пожара располагается на отметке 0,000 м. Объем разлива масла составляет 1 м³, площадь разлива – 1000 м², размером 32×32 м (подобран наиболее подходящий сценарий развития пожара). Расчетные точки располагаются на отметке +10,500 м.

В таблице 2.6. представлены результаты проведенных расчетов (показатели критических времен по достижению опасными факторами пожара величины их критических значений для людей на уровнях рабочей зоны).

Таблица 2.6 – Критические времена по достижению опасными факторами пожара величины их критических значений для людей на уровнях рабочей зоны

Указание расчетной точки	По повышенной температуре – 70 °С	По потере видимости – 20 м	По повышенному содержанию CO ₂ – 0,11 кг/м ³	По повышенному содержанию CO – 0,00116 кг/м ³	По пониженному содержанию O ₂ – 0,226 кг/м ³	Время минимального наступления, с
Расчетная точка 1	295	253	>900	624	>900	253
Расчетная точка 2	114	47	>900	461	185	47
Расчетная точка 3	351	173	>900	653	>900	173

Поля массовой концентрации продуктов горения в помещении машинного зала представлены на рисунке 2.16.

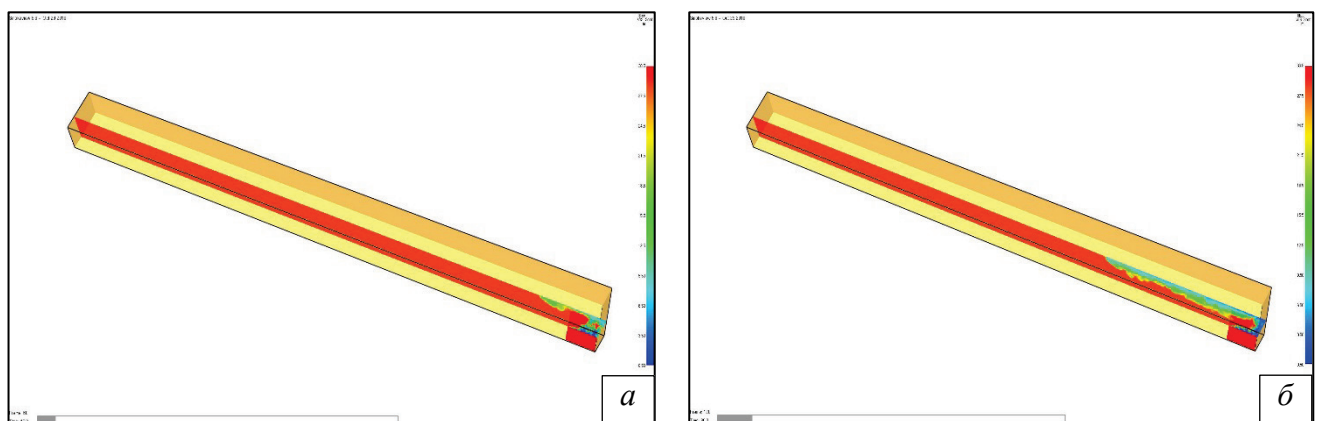


Рисунок.2.16 – Фрагменты полей массовой концентрации продуктов горения:

а – через 60 секунд с момента начала горения;

б – через 120 секунд с момента начала горения

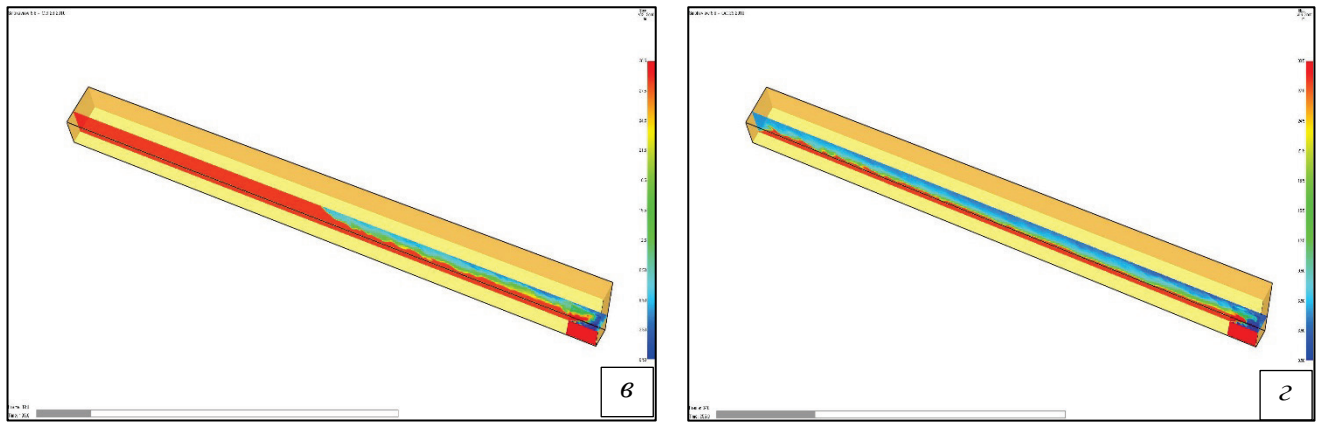


Рисунок 2.16 Окончание:

б – через 180 секунд с момента начала горения;

з – через 240 секунд с момента начала горения

Потеря видимости (менее 20 м.) на уровне рабочей зоны в расчетной точке 2 машинного зала Смоленской АЭС составит 47 секунд с момента начала пожара. В течение ближайших минут видимость на уровне рабочей зоны упадет менее 5 метров. При данном показателе видимости в дыму тушение пожара в соответствии с действующими нормативными документами на АЭС запрещено [64].

На рисунке 2.17 представлены поля абсолютной температуры с момента возникновения пожара.

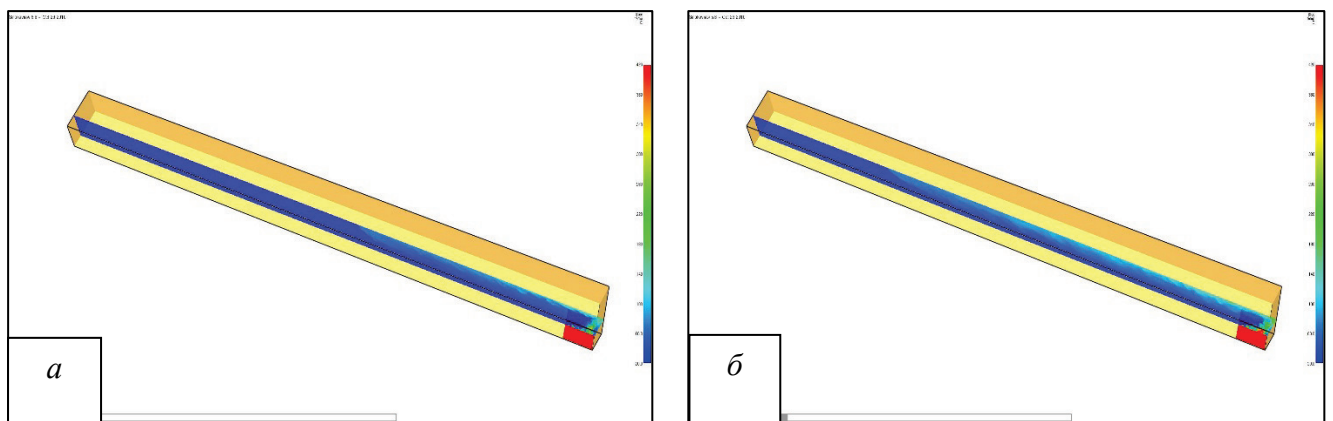


Рисунок 2.17 – Фрагменты полей абсолютной температуры в помещении машинного зала:

а – поля абсолютной температуры через 120 секунд после начала горения;

б – поля абсолютной температуры через 240 секунд после начала горения

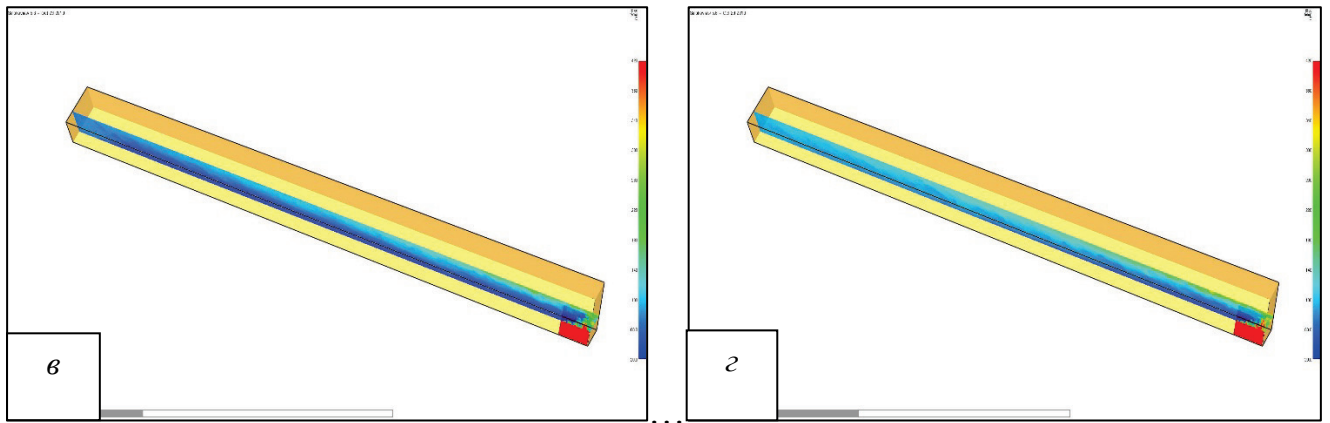


Рисунок 2.17 – Окончание:

a – поля абсолютной температуры через 360 секунд после начала горения;

b – поля абсолютной температуры через 480 секунд после начала горения

Показатель критического значения температуры воздуха на уровне рабочей зоны в расчетной точке 2 ($70\text{ }^{\circ}\text{C}$) наступит на 114 секунд с момента возникновения пожара. Согласно прогнозам, температура воздуха в помещении машинного зала АЭС продолжит свой рост, критическое значение показателя в расчетной точке 1 наступит через 295 секунд, в расчетной точке 3 – на 351 секунд.

На рисунке 2.18 представлен график снижения концентрации кислорода в воздухе в расчетной точке 2 помещения машинного зала АЭС.

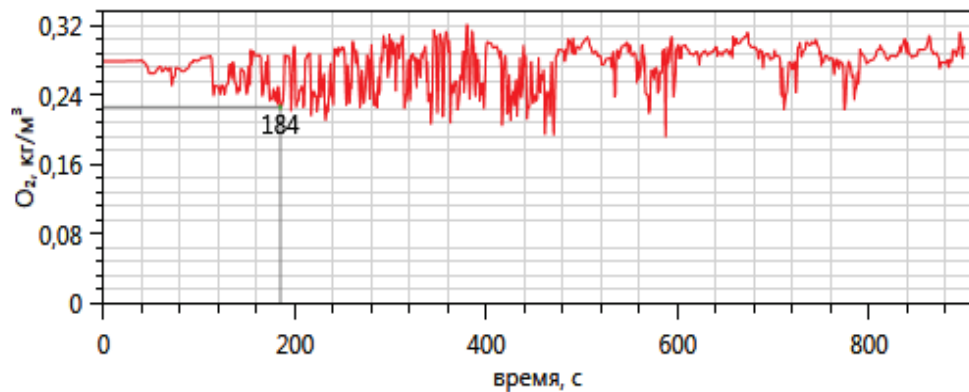


Рисунок 2.18 – Понижение концентрации кислорода (O_2) в воздухе в расчетной точке 2 помещения машинного зала, критический показатель – 184 с

На рисунках 2.19–2.20 представлены графики роста содержания вредных (т. е. токсичных) веществ в воздухе в расчетной точке 2 помещения машинного зала АЭС:

Критический показатель концентрации монооксида углерода (CO) наступит через 461 секунд с момента возникновения пожара (рисунок 2.19).

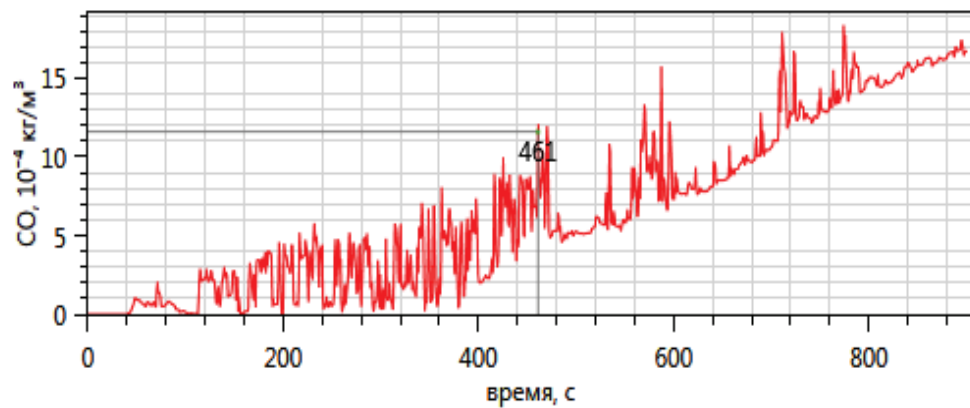


Рисунок 2.19 – Увеличение концентрации монооксида углерода (CO) в расчетной точке 2 помещения машинного зала

Критический показатель концентрации диоксида углерода (CO₂) наступит более чем через 900 секунд с момента возникновения пожара.

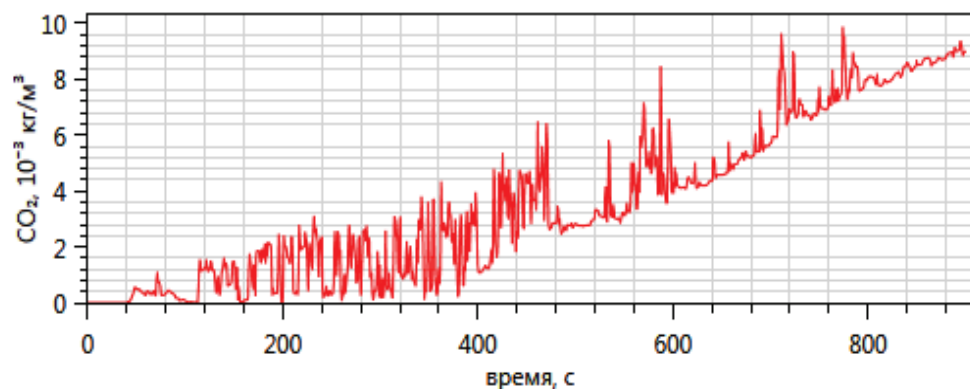


Рисунок 2.20 – Увеличение концентрации диоксида углерода в расчетной точке 2 помещения машинного зала

Проведенные расчеты динамики развития возможного пожара в помещении машинного зала АЭС показали следующее:

1. Наиболее вероятным источником пожара является возгорание трансформаторного масла, вследствие его попадания на раскаленные поверхности технологического оборудования при разгерметизации трубопроводов под давлением. Потеря видимости (менее 20 метров) в помещении машинного зала (расчетная точка 2) наступает менее чем через 1 минуту с момента возникновения пожара (рисунок 2.21). Прибытие к этому времени подразделений ФПС ГПС по охране АЭС и начало успешных действий по тушению пожара при данных сценариях развития пожара маловероятно. Эвакуацию персонала, технологические переключения и сбор информации о пожаре целесообразно проводить оперативному персоналу машинного зала с помощью применения первичных средств пожаротушения (внутренний противопожарный водопровод), уделив особое внимание технике безопасности выполнения работ.

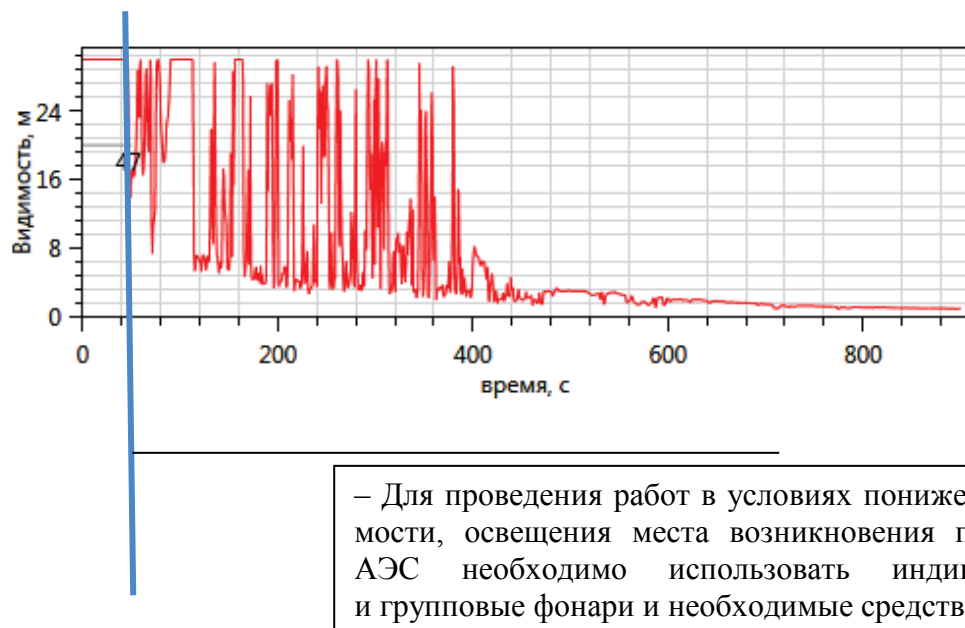
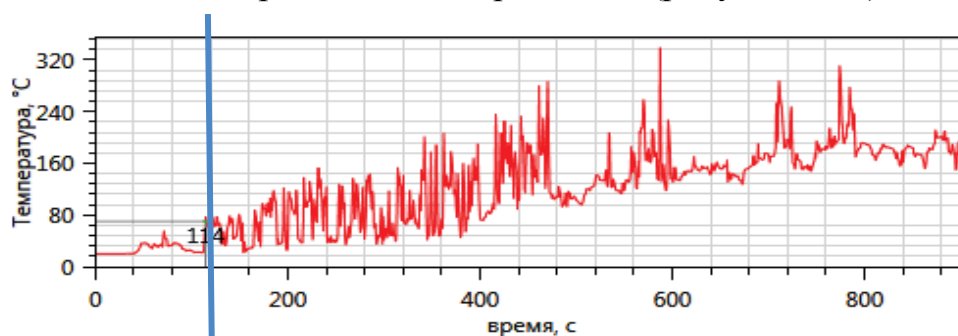


Рисунок 2.21 – Временная граница потери видимости на уровне рабочей зоны в расчетной точке 2 помещения машинного зала АЭС

2. Динамика развития пожара в помещении машинного зала показывает, что уровень абсолютной температуры на уровне рабочей зоны в расчетной точке 2 уже через 2 минуты с момента возникновения горения перешагнет отметку в 70 °С и в дальнейшем будет неуклонно расти. Через 5 минут температура составит порядка 110–120 °С, а через 10 минут значение температуры превысит показатель в 250 °С. В этой связи оперативный персонал должен применять средства

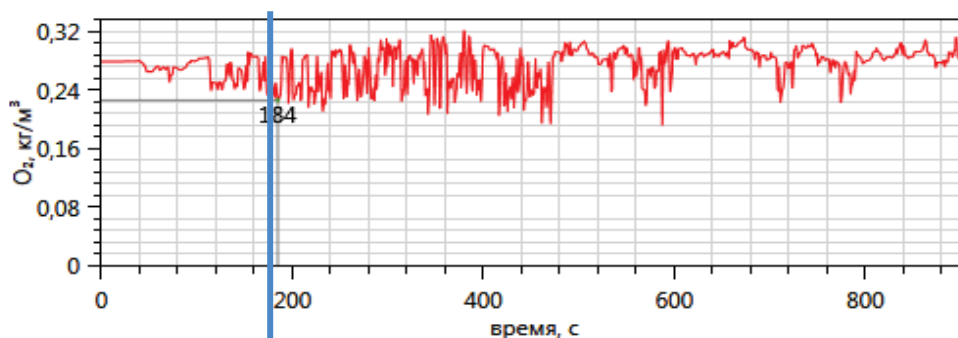
защиты тела человека от воздействия высокой температуры, искр, теплового потока, открытого пламени и раскаленных предметов (рисунок 2.22).



– Через 2 минуты с момента возникновения пожара температура воздуха на уровне рабочей зоны составит 70 °С. Для проведения дальнейших работ необходимо применение средств защиты тела человека

Рисунок 2.22 – Временная граница наступления критического показателя абсолютной температуры на уровне рабочей зоны в расчетной точке 2 помещения машинного зала АЭС

Через 3 минуты с момента возникновения пожара содержание кислорода в воздухе уменьшится до критического показателя. Для выполнения дальнейших работ оперативному персоналу необходимо применение дыхательного аппарата со сжатым воздухом (рисунок 2.23).

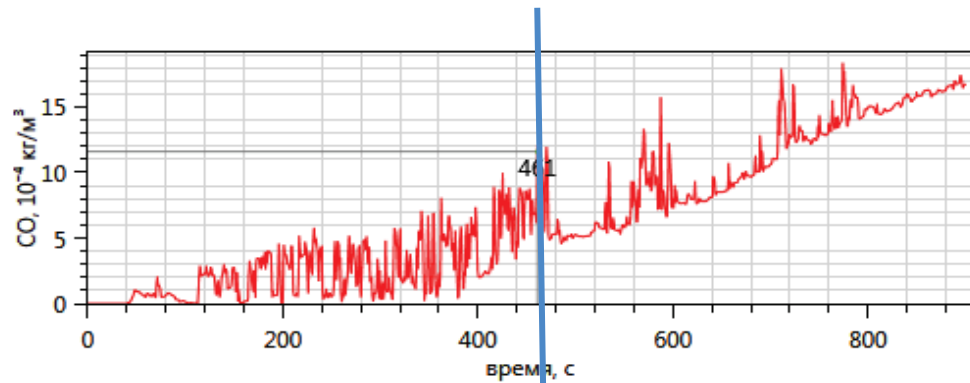


–Через 3 минуты с момента возникновения пожара персоналу АЭС необходимо использовать ДАСВ

Рисунок 2.23 – Изменение концентрации кислорода (O_2) в воздухе в расчетной точке 2 помещения машинного зала

4. Критический показатель концентрации монооксида углерода (CO) в расчетной точке 2 помещения машинного зала наступит через 7,5 минут с момента

возникновения пожара (рисунок 2.24). Для защиты органов дыхания и зрения необходимо использования ДАСВ.



— Через 7,5 минут с момента возникновения пожара ОП АЭС необходимо использовать ДАСВ для защиты органов дыхания и зрения

Рисунок 2.24 – График роста концентрации монооксида углерода (CO) в расчетной точке 2 помещения машинного зала

5. Стремительный рост опасных факторов пожара в помещении машинного зала показывает невозможность тушения пожара оперативным персоналом АЭС, однако в этот короткий период до наступления критических значений опасных факторов пожара необходимо провести неотложные работы по эвакуации персонала, проведению экстренных технологических переключений оборудования и сбору информации о происшествии для передачи данных пребывающим подразделениям пожарной охраны. Все вышеперечисленные мероприятия необходимо проводить с использованием необходимых технических средств и средств защиты человека от воздействия опасных факторов пожара с обязательным соблюдением требований охраны труда. Одновременно с этим необходимо организовать встречу пожарных подразделений, подготовить допуск к тушению пожара, что в свою очередь позволит сократить время свободного развития пожара и минимизировать ущерб.

2.3 Необходимость обеспечения оперативного персонала атомных электростанций техническими средствами для выполнения работ при возникновении пожара на основе прогноза развития опасных факторов пожара

Динамика развития опасных факторов пожара для помещений БЩУ и машинного зала АЭС показывает необходимость разработки комплексной защиты оперативного персонала, работающего в этих условиях.

Технические средства защиты и обеспечения выполнения работ оперативным персоналом АЭС должны не только обеспечивать защиту человека от воздействия ОФП (повышенная температура окружающей среды при пожаре, открытое пламя, искры, тепловой поток, раскаленные части технологического оборудования), но и учитывать следующие показатели:

- особенности технологических процессов, протекающих при выработке электрической энергии;
- особенности выполнения работ оперативного персонала, учитывая возложенные на них должностные обязанности;
- различные возрастные критерии должностных лиц из числа оперативного персонала АЭС;
- различные антропометрические данные лиц из числа оперативного персонала АЭС.

Исходя из практического опыта применения в подразделениях пожарных (или пожарно-спасательных) частей средств защиты человека от воздействия опасных факторов, возникающих при пожарах, можно сделать вывод о том, что минимально-необходимый перечень средств должен содержать следующие позиции, отраженные на рисунке 2.25.

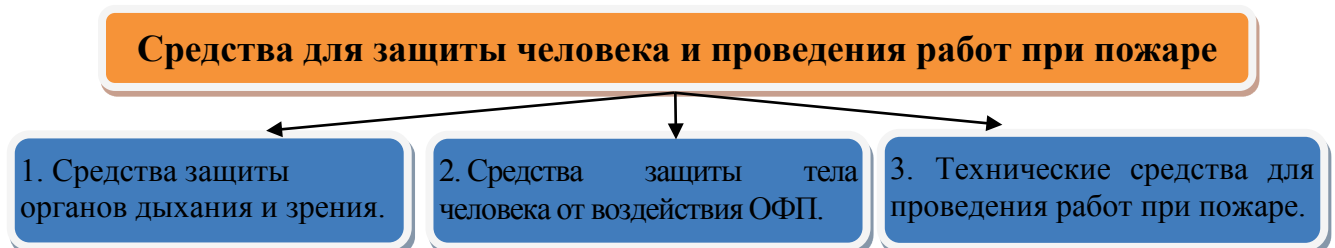


Рисунок 2.25 – Средства для защиты человека и проведения работ при пожаре

1. Для защиты органов дыхания и зрения человека от вредного воздействия непригодной для дыхания токсичной и задымленной газовой среды при пожарах в зданиях, сооружениях и на производственных объектах различного назначения используются аппараты дыхательные со сжатым воздухом с открытым циклом дыхания. Аппарат дыхательный со сжатым воздухом с открытым циклом дыхания – автономный изолирующий резервуарный аппарат, в котором запас воздуха хранится в баллонах в сжатом состоянии. При работе аппарата вдох осуществляется из баллонов, а выдох в атмосферу [65].

В настоящее время на АЭС эксплуатируются два типа ДАСВ, один из них предназначен для профессиональных пожарных и подлежат обязательной сертификации в области пожарной безопасности, другой – для защиты органов дыхания и зрения человека от вредного воздействия токсичной и задымленной газовой среды при проведении аварийно-спасательных работ в зданиях и сооружениях, на производственных объектах, кораблях и судах различных министерств и ведомств, а также эвакуации пострадавшего из зоны с непригодной для дыхания газовой средой при использовании со спасательным устройством («ОМЕГА-С») [66]. Технические характеристики дыхательного аппарата «ОМЕГА-С», в зависимости от исполнения, соответствуют требованиям технического регламента Таможенного союза [67].

2. К средствам защиты тела человека от воздействий опасных факторов пожара можно отнести боевую одежду пожарного, средства защиты рук, а также защитные плащи и накидки, предназначенные для эвакуации людей в случаях возникновения пожаров.

Боевая одежда пожарного (далее – БОП) – это комплект многослойной специальной защитной одежды общего назначения, состоящий из куртки, брюк (полукомбинезона) и предназначенный для защиты пожарного от опасных и вредных факторов окружающей среды, возникающих при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ, а также от неблагоприятных климатических воздействий.

Средства защиты рук пожарного (далее – СЗР): рукавицы или перчатки, используемые в комплекте с БОП и предназначенные для защиты кистей рук пожарного [68].

Специальная огнезащитная накидка «Шанс» (покрывало для изоляции очага возгорания, огнетушащая накидка, средства локальной защиты) предназначена для предотвращения возгорания одежды и защиты тела человека от открытого пламени и повышенных температур. Плащ – накидка изготовлена из негорючей огнеупорной ткани и подходит для тушения малых очагов возгорания [69].

3. К техническим средствам, необходимым для выполнения перечня работ оперативным персоналом при пожаре необходимо отнести такие средства как:

- фонарь аккумуляторный, предназначенный для работы в задымленной и (или) загазованной среде;
- противопожарное полотно (кошма), предназначенное для устранения пожара, горения материалов в начальной стадии возгорания. Тушение происходит путем прекращения доступа к ним кислорода;
- диэлектрический комплект (коврик, перчатки), предназначенный для защиты от поражения постоянным и переменным электрическим током, напряжение которого не превышает 1000 В (как основное средство защиты);
- топор пожарный, предназначенный для вскрытия кровли, дверей, окон, разборки легких конструктивных элементов зданий и сооружений. Может использоваться в качестве зацепного устройства;
- самоспасатель промышленный изолирующий (СПИ-50), предназначенный для вывода пострадавшего от пожара (аварии) в условиях задымления;
- медицинская аптечка для энергопредприятий, предназначенная для оказания первой помощи пострадавшему от пожара;
- первичное средство пожаротушения (переносное устройство аэрозольного пожаротушения электро-помещений и электрооборудования, находящегося под напряжением до 10 кВ) для тушения пожара в начальной стадии его развития;

– переговорное устройство, предназначенное для ведения переговоров между оперативным персоналом при выполнении работ в условиях непригодной для дыхания среды при пожаре;

– страховочный трос для работы оперативного персонала в условиях ограниченной видимости.

Выводы по второй главе

1. Проведенные расчеты динамики развития пожара в помещении БЦУ и машинном зале АЭС показали необходимость оснащения оперативного персонала техническими средствами защиты человека и выполнения работ при возникновении пожаров.

2. Особенностью развития пожара в помещении БЦУ является выделение большого количества токсичных веществ при горении электрооборудования и контрольно-измерительных приборов. Тушение пожара необходимо проводить силами оперативного персонала, осуществляющим контроль и управление реакторной установки, в наикротчайшие сроки, имеющимися первичными средствами пожаротушения (огнетушителями и внутренним противопожарным водопроводом). Ожидание прибытия пожарных подразделений для тушения пожара может привести к распространению огня по всей площади помещения БЦУ и к его потере. Проведение работ в условиях непригодной для дыхания среде следует выполнять с применением дыхательных аппаратов со сжатым воздухом, при этом с обязательным условием страховки и соблюдением техники безопасности.

3. Загорание турбинного масла в помещении машинного зала происходит по всей площади разлива жидкости. В таких случаях горение сопровождается сильным задымлением, быстрым ростом температуры и снижением видимости. Горение масла может происходить на различных уровнях (на площадках обслуживания) вследствие разгерметизации трубопроводов, находящихся под давлением. При дальнейшем развитии пожара возможна угроза взрывов маслоба-

ков, находящихся на отметке 0,000 и распространения горения в кабельные туннели через технологические проемы и неплотности, причем не только в лежащие ниже туннели, но и по вертикальным кабельным каналам, расположенным выше (Белоярская АЭС, Россия, Свердловская область).

При загорании обмоток генератора (таких пожаров произошло примерно 5 % от общего числа) возникает угроза разгерметизации системы охлаждения и если используется водородное охлаждение – то опасность взрыва.

Развитие пожара в машинном зале в результате взрыва водорода, растекание горящего турбинного масла, горение контрольных и сигнальных кабелей может привести к угрозе распространения пожара на щиты управления и релейные щиты.

4. Проведенные исследования показали сходство расчетных параметров с данными различных исследований и показателями реальных пожаров, хотя сценарии развития пожара заранее предугадать практически невозможно.

5. Действия оперативного персонала АЭС в первую очередь должны быть направлены на эвакуацию людей и выполнению экстренные технологических операций, направленных на минимизацию последствий происшествия. До прибытия пожарных подразделений необходимо собрать информацию о характере пожара, необходимости проведения технологических переключений, провести мероприятия по снятию напряжения с технологического оборудования. При возможности использования внутреннего противопожарного водопровода до начала тушения пожара необходимо провести заземление пожарных стволов, имеющимися на АЭС устройствами заземления. Все работы оперативного персонала в условиях непригодной для дыхания среды необходимо производить с использованием страховочного троса и необходимых средств защиты.

ГЛАВА 3

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЙ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА
ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ПОЖАРОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ
АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ3.1 Расчет энергозатрат человека для транспортировки необходимых
технических средств к месту проведения работ при пожаре

Произведенные расчеты динамики развития опасных факторов пожара в типовых помещениях АЭС показали необходимость обеспечения персонала станции техническими средствами для выполнения перечня работ (действий) в случаях возникновения пожаров.

Скомплектованный минимально необходимый перечень технических средств для защиты персонала от воздействия опасных факторов пожара и обеспечения работ при пожаре показал необходимость выбора способов его транспортировки в следствии большого веса оборудования. Для определения возможностей транспортировки комплекта оборудования к месту пожара и выполнению дальнейших работ произведен расчет энергозатрат человека. Для проведения расчетов проложены наиболее сложные маршруты движения членов оперативного персонала АЭС от мест дислокации к местам возможного возникновения пожара. В качестве исследуемого объекта рассматривался машинный зал в связи с тем, что работа в нем усложняется повышенной температурой окружающей среды, повышенным уровнем шума, а также большими расстояниями и расположением технологического оборудования на различных высотах.

За основу расчета выбрана методика определения энергозатрат членов аварийно-спасательных подразделений горноспасательных частей [71]. Исследования в данной отрасли проводятся на протяжении нескольких десятков лет, при этом полученный положительный опыт применяется повсеместно при проведении поисково-спасательных работ в шахтах и горных разработках. Необходимо отме-

титель, что масса переносимого снаряжения оказывает большое влияние на работоспособность и энергозатраты организма человека [72]. Для оценки этого влияния и проведения ориентировочных расчетов необходимо установить зависимость между массой переносимого снаряжения и энергозатратами человека при движении по горизонтальной поверхности.

Энергетические процессы в организме человека основаны на общем потреблении им кислорода q_M , (л/мин), которое для исследуемого процесса можно представить в виде

$$q_M = q_0 + q_G, \quad (3.1)$$

где q_0 – потребление кислорода человеком при ходьбе без груза, л/м;

q_G – дополнительное потребление кислорода человеком при перенесении груза, л/м.

Здесь имеется в виду, что ходьба с грузом и без него происходит с одной и той же скоростью, в одном и том же месте.

Принимаем значение q_0 равным 1 л/мин, q_G принимаем равным 1 л/мин.

Переходя к удельным значениям и используя выражение (1), получим, соответственно:

$$q_{Gy} = q_G / m_G, \quad q_{0y} = q_0 / m_0, \quad (3.2)$$

где q_{Gy} , q_{0y} – удельное и дополнительное потребление кислорода человеком при перенесении груза, л/(мин·кг);

m_G , m_0 – масса груза и тела человека, соответственно, кг.

Принимаем m_G равным 40 кг, m_0 равным 80 кг

$$q_{Gy} = 1/40 = 0,025, \quad q_{0y} = 1/80 = 0,0125$$

Введем условную безразмерную величину ϕ – коэффициент потребления кислорода при перенесении груза:

$$\phi = q_{Gy} / q_{0y}. \quad (3.3)$$

Коэффициент ϕ показывает, во сколько раз дополнительное потребление кислорода на 1 кг переносимого груза больше (или меньше), чем потребление кислорода человеком при передвижении в том же темпе без груза.

$$\varphi = 0,025 / 0,0125 = 2$$

С учетом формул (1), (2) выражение (3) примет вид

$$\varphi = m_0 (q_M - q_0) / (q_0 m_\Gamma), \quad (3.4)$$

$$\text{т.е. } \varphi = 80(2-1) / (1 \cdot 40) = 2.$$

Отсюда следует, что

$$q_M / q_0 = (1 + \varphi m_\Gamma / m_0). \quad (3.5)$$

$$2/1 = (1 + 2 \cdot 40 / 80) \quad 2 = 2$$

Поскольку энергозатраты человека эквивалентны и прямо пропорциональны потреблению кислорода, то отношение значений потребления кислорода в выражении (5) можно заменить отношением соответствующих энергозатрат:

$$\Phi_M / \Phi_0 = (1 + \varphi m_\Gamma / m_0), \quad (3.6)$$

где Φ_M , Φ_0 – энергозатраты человека при движении с грузом и без него (фоновая нагрузка), соответственно, Вт.

Отсюда следует, что

$$\Phi_M = \Phi_0 (1 + \varphi m_\Gamma / m_0) \quad (3.7)$$

$$\Phi_M = 2 \Phi_0.$$

Соответственно,

$$\varphi = m_0 (\Phi_M - \Phi_0) / (\Phi_0 m_\Gamma). \quad (3.8)$$

Тогда

$$\Phi_M = 324,28 (1,437 q_r - 1,099). \quad (3.9)$$

В итоге:

$$\Phi_M = (0,0121 \alpha^2 + 0,322 \alpha - 104,983) h + 621,509 R = 0,93074316,$$

т. к. $\alpha = 0$, а $h = 2$ м, поэтому

$$\Phi_M = -209,966 + 621,509 = 411,543 \text{ Вт.}$$

В результате проведенного расчета можно сделать вывод, что при переносе оборудования массой порядка 40 кг к месту пожара лицами оперативного персонала АЭС энергозатраты составят приблизительно 416 Вт, что в соответствии с таблицей 3.1 [72] приравнивается к тяжелой физической работе.

Таблица 3.1 – Выборка из приложения № 1 ГОСТ 12.1.005–88

Термин	Пояснение
13. Легкие физические работы (категория I)	Виды деятельности с расходом энергии не более 150 ккал/ч (174 Вт). <i>Примечание.</i> Легкие физические работы разделяются на категорию Ia – энергозатраты до 120 ккал/ч (139 Вт) и категорию Ib – энергозатраты 121–150 ккал/ч (140–174 Вт). К категории Ia относятся работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением (ряд профессий на предприятиях точного приборо- и машиностроения, на часовом, швейном производствах, в сфере управления и т.п.). К категории Ib относятся работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (ряд профессий в полиграфической промышленности, на предприятиях связи, контролеры, мастера в различных видах производства и т.п.)
14. Средней тяжести физические работы (категория II)	Виды деятельности с расходом энергии в пределах 151–250 ккал/ч (175–290 Вт). <i>Примечание.</i> Средней тяжести физические работы разделяют на категорию IIa – энергозатраты от 151 до 200 ккал/ч (175–232 Вт) и категорию IIб – энергозатраты от 201 до 250 ккал/ч (233–290 Вт). К категории IIa относятся работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения (ряд профессий в механосборочных цехах машиностроительных предприятий, в прядильно-ткацком производстве и т.п.). К категории IIб относятся работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (ряд профессий в механизированных литейных, прокатных, кузнечных, термических, сварочных цехах машиностроительных и металлургических предприятий и т. п.)
15. Тяжелые физические работы (категория III)	Виды деятельности с расходом энергии более 250 ккал/ч (290 Вт). <i>Примечание.</i> К категории III относятся работы, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий (ряд профессий в кузнечных цехах с ручной ковкой, литейных цехах с ручной набивкой и заливкой опок машиностроительных и металлургических предприятий и т. п.)

3.2 Разработка передвижного комплекта технических средств для обеспечения действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций и его практическая апробация

Проведенный теоретический расчет энергозатрат человека по переносу технического оборудования к месту пожара показал, что только одна транспортировка необходимых средств забирает огромное количество энергии и проведение дальнейших работ при пожаре будет осложнено, так как физические возможности человека не безграничны. В результате этого остро встал вопрос облегчения выполнения работ по доставке необходимого оборудования оперативным персоналом к месту возможного пожара. Разработан прототип передвижного комплекта технических средств для обеспечения действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях АЭС (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Прототип передвижного комплекта технических средств для обеспечения действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций

Использование промышленного кейса на колесах, имеющего выдвижную рукоять для транспортировки, по мнению автора настоящего диссертационного исследования, позволит осуществлять транспортировку технических средств с минимальными энергозатратами для человека.

Для подтверждения предположения разработана методика испытаний и проведен ряд натурных экспериментов на базе загородного учебного центра «Нагорное» Академии ГПС МЧС России с использованием учебной четырехэтажной башни и учебно-тренировочных комплексов «Грот», «Лава», «Уголек».

Варианты транспортировки технических средств предложено провести двумя различными способами (рисунок 3.2).

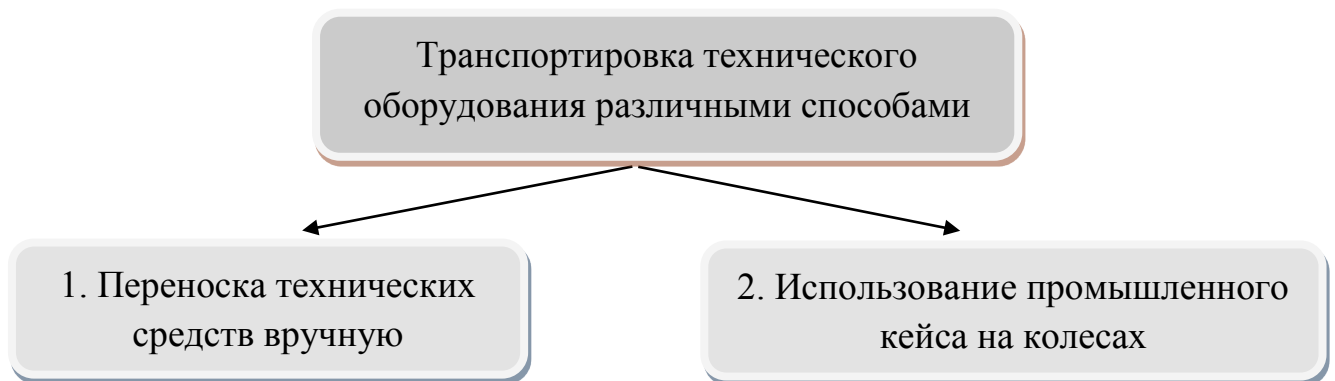


Рисунок 3.2 – Варианты транспортировки технического оборудования

На момент проведения экспериментальных исследований вес прототипа комплекта составлял порядка 23 кг. В состав комплекта включены следующие технические средства:

- дыхательный аппарат со сжатым воздухом АП «Омега-С», предназначенный для защиты органов дыхания и зрения человека от вредного воздействия токсичной и задымленной газовой среды при проведении аварийно-спасательных работ в зданиях и сооружениях, на производственных объектах различных министерств и ведомств;
- защитная плащ-накидка, предназначенная для защиты тела человека от воздействия опасных факторов пожара;
- защитные краги, предназначенные для защиты рук от воздействия опасных факторов пожара;

- фонарь, предназначенный для работы в задымленной и (или) загазованной среде;
- противопожарное полотно (кошма), предназначенное для устранения пожара, горения материалов на начальной стадии возгорания. Тушение происходит путем прекращения доступа к ним кислорода;
- специальная огнезащитная накидка «Шанс», предназначенная для предотвращения возгорания одежды и защиты тела человека от открытого пламени, а также защиты спасаемого от повышенных температур и теплового излучения во время эвакуации в условиях пожара;
- диэлектрический комплект (коврик, перчатки), предназначенный для защиты от поражения постоянным и переменным электрическим током, напряжение которого не превышает 1000 В (как основное средство защиты).
- топор пожарный, предназначенный для вскрытия кровли, дверей, окон, разборки легких конструктивных элементов зданий и сооружений. Может использоваться в качестве зацепного устройства.

Объектом проведения экспериментальных исследований являлось определение возможности доставки оборудования и удобство его эксплуатации в условиях учебно-тренировочных объектов Академии ГПС МЧС России.

Цели исследования:

1. Определение наиболее удобных способов доставки оборудования по горизонтальной и наклонным поверхностям, с использованием узких металлических лестниц, с углом наклона 65° ;
2. Определение удобства транспортировки промышленного кейса на колесах с оборудованием при переносе вручную и с использованием выдвижной рукояти (сравнительная характеристика).
3. Проверка уровня работоспособности человека с различными антропометрическими данными в технических средствах обеспечения работ оперативного персонала АЭС и боевой одежде пожарного (сравнительная характеристика).
4. Отработка удобства использования ДАСВ «ОМЕГА-С»

5. Испытания средств защиты оперативного персонала АЭС в условиях воздействия открытого пламени, задымленной зоны.

Для достижения целей необходимо решить ряд задач исследования, таких как:

- установить возможность транспортировки комплекта по горизонтальным и наклонным поверхностям;
- дать оценку удобства работы человеком в средствах защиты в условиях воздействия опасных факторов пожара;
- выявить недостатки применения комплекта, предложить пути их устранения.

Для проведения испытаний привлекались курсанты 1-го и 2-го курсов с различными антропометрическими данными, указанными в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Антропометрические данные участников экспериментов

№ п/п	Участники экспериментальных исследований	Рост, м	Вес, кг	Примечание*
1	Участник 1	1,90	85	Курсант 1 курса
2	Участник 2	1,80	73	Курсант 2 курса
3	Участник 3	1,78	70	Курсант 1 курса

*Уровень подготовки участников – начальный

Эксперимент № 1 (место проведения – учебная башня)

Эксперимент по доставке необходимых технических средств от мест их непосредственного размещения к месту возникновения условного пожара для принятия первичных посильных мер по спасению людей, проведению технологических переключений (отключений) и его тушению. Участникам предлагалось осуществить доставку технических средств по двум вариантам:

- а) надевание средств защиты непосредственно на рабочем месте и доставка необходимого технического оборудования к месту условного пожара;
- б) доставка технических средств, упакованных в промышленный кейс на колесах к месту пожара и экипировка на «чистом воздухе» непосредственно перед обозначенной зоной – непригодной для дыхания среды.

Проведение испытаний (вариант А)

I этап. Надевание комплекта средств защиты (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Надевание средств защиты персонала атомной электростанции:

а – надевание дыхательного аппарата; *б* – надевание защитной накидки;

в – надевание защитных перчаток

II этап. Сбор технических средств для выполнения специальных работ при пожаре в задымленных помещениях (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Сбор технических средств:

а – выбор технических средств защиты из кейса; *б* – выбор удобного способа для переноса технических средств; *в* – размещение средств для их переноса вручную

III этап. Доставка комплекта средств защиты к месту возникновения условного пожара (3 этаж учебной башни) представлен на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Доставка технических средств обеспечения действий оперативного персонала АЭС к месту условного возникновения пожара:

а – начало движения; *б* – подъем по металлической лестнице на 1 этаж; *в* – подъем по металлической лестнице на 2 этаж; *г* – переноска оборудования по лестничной клетке

IV этап. Выход на позицию.

С учетом складывающейся обстановки на месте условного пожара персонал выбирает необходимый перечень технических средств (в данном случае – фонарь и топор пожарный), производит раскатку пожарного рукава со стволом диаметром 51 мм для имитации тушения очага пожара и осуществляет подъем на 3 этаж учебной башни (выход на позицию) (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Выход на позицию:

а – подъем на 3 этаж учебной башни; *б* – раскатка пожарного рукава со стволом;
в – выход на позицию

Проведение испытаний (вариант Б)

Данные испытания проведены с применением промышленного кейса на колесах. В данном эксперименте фиксировалось время доставки оборудования, размещенного в кейсе к месту условного возникновения пожара (2 этаж учебной башни), время одевания средств защиты органов дыхания и зрения человека, средств защиты тела человека от воздействия опасных факторов пожара, сбор необходимых средств и выход на позицию (3 этаж учебной башни).

I этап. Доставка промышленного кейса за центральную рукоять с места непосредственного размещения (1 этаж учебной башни) к месту условного пожара (3 этаж учебной башни) представлена на рисунке 3.7.



Рисунок 3.7 – Доставка промышленного кейса к месту условного пожара:

а – подъем по металлической лестнице, имеющий угол наклона 60°;

б – подъем на 2 этаж учебной башни; *в* – подъем на лестничную клетку 2 этажа учебной башни

II этап. Надевание комплекта средств защиты (рисунок 3.8).

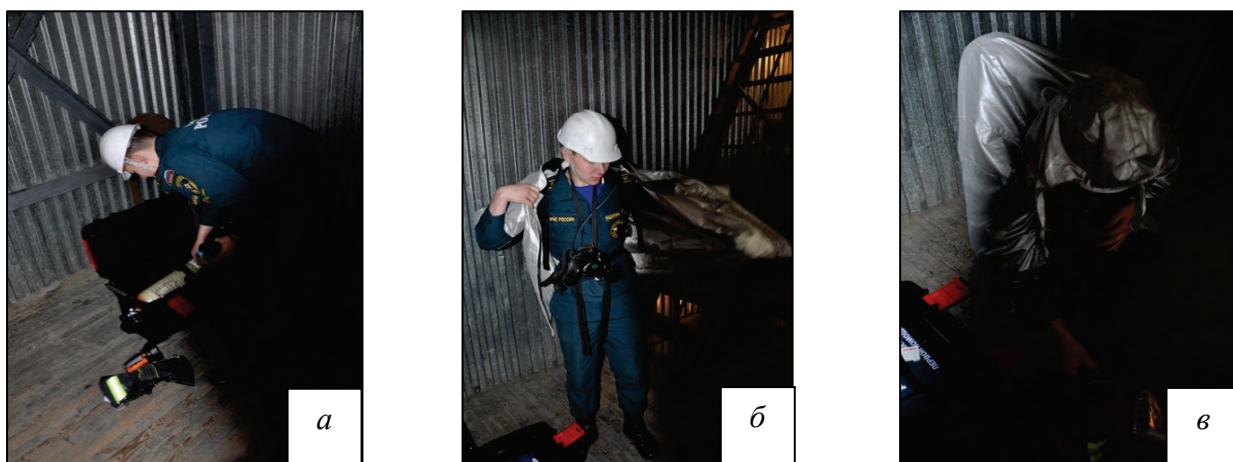


Рисунок 3.8 – Надевание средств защиты и сбор необходимого технического оборудования

а – надевание дыхательного аппарата, *б* – надевание защитной плащ-накидки,

в – выбор необходимых технических средств

III этап. Выход на позицию.

С учетом складывающейся обстановки на месте условного пожара персонал выбирает необходимый перечень технических средств (в данном случае – фонарь и топор пожарный), производит раскатку пожарного рукава со стволом диаметром 51 мм для имитации тушения очага пожара и осуществляет подъем на 3 этаж учебной башни (выход на позицию) (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Выход на позицию:

а – подъем на 3 этаж учебной башни;

б – раскатка пожарного рукава со стволом; *в* – выход на позицию

Результаты проведенных экспериментов представлены в таблице 3.3. и приложении А настоящей диссертационной работы.

Таблица 3.3 – Результаты экспериментов по доставке оборудования

№ п/п	Участники экспериментов	Эксперимент 1 (вариант А), мин				Эксперимент 1 (вариант Б), мин		
		Надевание средств защиты	Подъем на 3 этаж	Доставка комплекта на 3 этаж	Выход на позицию	Подъем кейса на 3 этаж	Надевание средств защиты	Выход на позицию
1	Участник 1	1,57	2,29	2,55	3,27	0,38	2,27	3,06
2	Участник 2	2,21	2,57	3,35	4,11	0,44	2,04	2,41
3	Участник 3	1,58	2,34	3,12	3,44	0,32	2,19	3,01

Выводы по эксперименту № 1

1. Анализ проведенных экспериментов по вариантам А и Б показал, что общее затраченное время на доставку средств защиты и необходимого технического

оборудования к месту условного пожара (3 этаж учебной башни) с использованием промышленного кейса на колесах и без его использования существенно различны. Разница показателей наблюдалась у всех участников эксперимента, наибольшая достигала двух минут (вариант А – 4,11 мин, вариант Б – 2,41 мин и наблюдалась у участника 2.

2. По результатам экспериментов можно сделать вывод о целесообразности доставки средств защиты оперативного персонала АЭС и технических средств для проведения специальных работ к месту возникновения пожара с использованием промышленного кейса на колесах. Уменьшение времени прибытия персонала к месту пожара позволит минимизировать последствия возникающих пожаров.

3. Опрос участников экспериментов после проведения испытаний показал, что осуществлять доставку технических средств посредством нахождения их в промышленном кейсе на колесах удобнее чем их переноска на руках, и в тоже время физически легче.

Эксперимент № 2

Проверка удобства транспортировки промышленного кейса на колесах с упакованными техническими средствами по двум вариантам:

а) переноска кейса за центральную рукоять, расположенную по центру кейса перед собой, либо на плече;

б) транспортировка кейса за выдвижную рукоять непосредственно за собой.

В данном эксперименте (вариант А) участники осуществляли подъем промышленного кейса на колесах на 3 этаж учебной башни за центральную рукоять, держа кейс впереди себя, либо на плече (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Транспортировка промышленного кейса перед собой

В эксперименте (вариант Б) участникам было предложено произвести подъем промышленного кейса на колесах с вложенными в него техническими средствами на 3 этаж учебной башни с помощью выдвижной рукояти непосредственно за собой (рисунок 3.11).



Рисунок 3.11 – Транспортировка промышленного кейса за выдвижную рукоять:

а – начало транспортировки промышленного кейса на колесах;

б, в – подъем кейса по металлическим лестницам учебной башни

Результаты исследований по транспортировке промышленного кейса различными способами занесены в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты транспортировки промышленного кейса различными способами

№ п/п	Участники экспериментов	Рост, м	Вес, кг	Эксперимент № 2	
				Подъем кейса на 3 этаж (за центральную рукоять), мин	Подъем кейса на 3 этаж (за выдвижную рукоять), мин
1	Участник 1	1,90	85	0,38	0,37
2	Участник 2	1,80	73	0,44	0,36
3	Участник 3	1,78	70	0,33	0,40

Выводы: результаты проведенного эксперимента показали, что участники 1 и 2 произвели подъем промышленного кейса за выдвижную ручку, затратив меньшее количество времени, чем за подъем кейса за центральную ручку, обратное можно сказать про подъем кейса участником 3 – он затратил большее количество времени, доставляя кейс за выдвижную рукоять. Опрос участников после проведения эксперимента показал, что доставка промышленного кейса на колесах за выдвижную рукоять наиболее удобнее, чем переноска его на руках впереди себя.

Эксперимент № 3

В данном эксперименте проверялся уровень работоспособности участников с различными антропометрическими данными в средствах защиты, предназначенных для защиты оперативного персонала АЭС и в боевой одежде пожарного. Эксперимент проводился на базе учебно-тренировочных модулей с использованием тренажеров в двух вариантах (А и Б). Температура рабочей зоны – 30 °С. Для проведения упражнений были задействованы следующие тренажеры:

- 1) беговая дорожка с наклоном 10°, скорость движения – 10 км/ч, время работы – 3 минуты;
- 2) тренажер «Лестница» (степ-тест), время работы – 1 минута;
- 3) вертикальный тренажер (тяга блока), время работы – 1 минута.

Участникам, привлеченным к эксперименту, между упражнениями предоставлялся перерыв для отдыха (продолжительностью 1 минута). После проведения каждого из упражнений замерялся пульс.

Проведение испытаний (вариант А). Привлекаемые к проведению эксперимента участники поочередно одевали средства защиты персонала АЭС в следующем составе (рисунок 3.12):

- дыхательный аппарат со сжатым воздухом; – защитная каска;
- защитная плащ-накидка; – защитные перчатки (краги).



Рисунок 3.12 – Отработка упражнений в комплекте средств защиты оперативного персонала АЭС:

- а* – использование тренажера «Беговая дорожка»; *б* – упражнение с использованием тренажера «Лестница»; *в* – упражнение с использованием тренажера «Тяга блока»

В перерывах между упражнениями производился замер частоты сердечных сокращений (рисунок 3.13). Под чистотой сердечных сокращений (ЧСС) понимается физиологический показатель сердцебиения, который широко используется в медицинской практике и спорте [73].



Рисунок 3.13 – Замер частоты сердечных сокращений у участников эксперимента:
а – замер ЧСС у участника эксперимента 2; *б* – замер ЧСС у участника эксперимента 3

Проведение испытаний (вариант Б)

Привлекаемые к проведению эксперимента участники поочередно одевали боевую одежду пожарного в следующем составе: боевая одежда пожарного, сапоги специальные пожарного, каска пожарного, пояс пожарный, краги пожарного (рисунок 3.14).

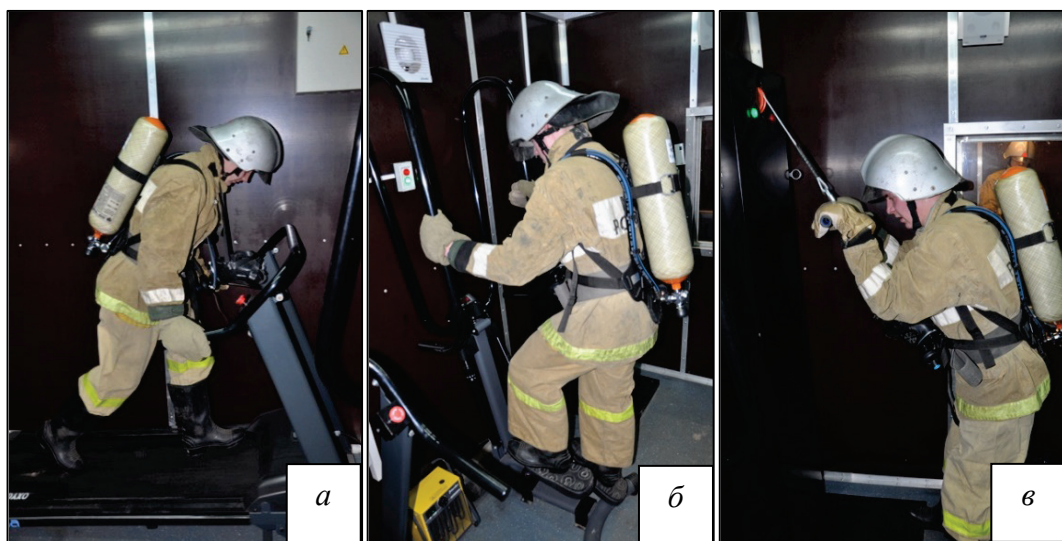


Рисунок 3.14 – Отработка упражнений в комплекте защиты пожарного:
а – использование тренажера «Беговая дорожка»; *б* – упражнение с использованием тренажера «Лестница»; *в* – упражнение с использованием тренажера «Тяга блока»

В перерывах между упражнениями производился замер частоты сердечных сокращений (рисунок 3.15).



Рисунок 3.15 – Замер частоты сердечных сокращений у участников эксперимента:

а – замер ЧСС у участника эксперимента 1; *б* – замер ЧСС у участника эксперимента 2;

в – замер ЧСС у участника эксперимента 3

Результаты проведенных экспериментов в различных средствах защиты человека занесены в таблицу 3.5

Таблица 3.5. Результаты проведенных испытаний в различных средствах защиты человека

№ п/п	Участники экспериментов	Эксперимент 3 (вариант А) Упражнения в комплекте средств защиты ОП АЭС			Эксперимент 3 (вариант Б) Упражнения в комплекте средств защиты пожарного		
		Беговая дорожка	Тренажер лестница	Тяга блока	Беговая дорожка	Тренажер лестница	Тяга блока
		<i>Показатели ЧСС</i>					
1	Участник 1	159	148	144	162	152	148
2	Участник 2	176	136	156	200	164	144
3	Участник 3	144	116	120	148	140	148

Выводы:

1. Анализ полученных данных показал, что работать в комплекте средств защиты персонала АЭС легче, чем в комплекте средств защиты пожарного, причем предельный показатель ЧСС (200 уд./мин) в результате проведения упражнения на беговой дорожке был зафиксирован у участника 2.

2. Опрос участников после проведения экспериментов показал, что работать в комплекте средств защиты ОП АЭС намного легче и удобнее, чем применять средства защиты пожарного. В дополнение можно отметить, что в связи с различным возрастом должностных лиц из числа оперативного персонала АЭС, а также состоянием их здоровья, необходимо как можно больше облегчить их работу при пожаре в средствах защиты, но одновременно с этим не допустить снижения защитных свойств применяемых средств защиты.

Эксперимент № 4

В данном эксперименте производилась отработка удобства использования (работы) ДАСВ «ОМЕГА-С», предназначенного для защиты органов дыхания и зрения человека от вредного воздействия токсичной и задымленной газовой среды при проведении аварийно-спасательных работ в зданиях и сооружениях, на производственных объектах различных министерств и ведомств. Для проведения эксперимента применялся учебно-тренировочный модуль лабиринт. Для имитации воздействия ОФП помещение модуля было заблаговременно задымлено.

Использование комплекта средств защиты персонала АЭС с ДАСВ «ОМЕГА-С» представлено на рисунке 3.16.

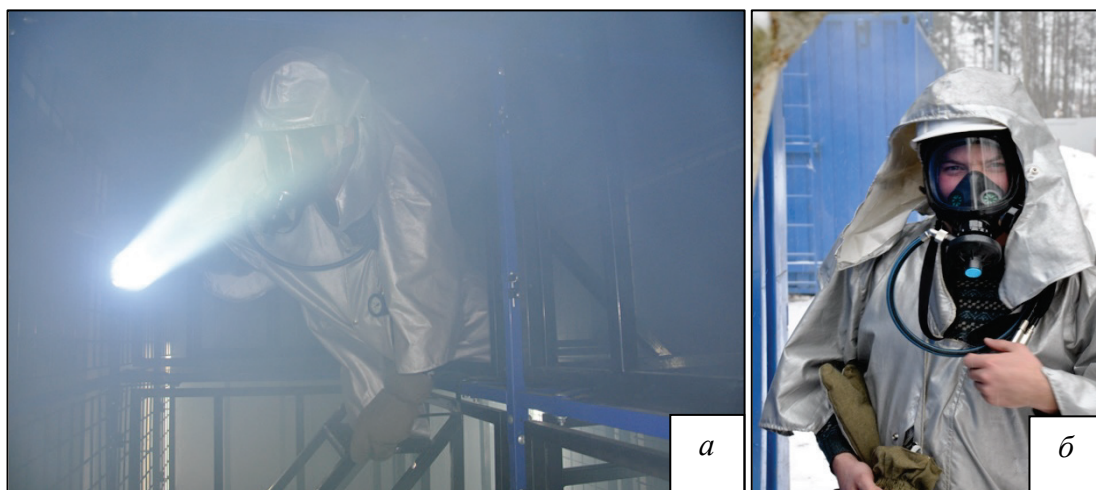


Рисунок 3.16 – Применение «Средств защиты персонала АЭС» при прохождении лабиринта:

а – использование индивидуального фонаря в задымленной зоне
при прохождении модуля «Лабиринт»; *б* – использование ДАСВ «ОМЕГА-С»

Испытание дыхательного аппарата со сжатым воздухом «ОМЕГА-С» в боевой одежде пожарного при прохождении модуля «Лабиринт» представлено на рисунке 3.17.



Рисунок 3.17 – Использование ДАСВ «ОМЕГА-С» участником, экипированным в боевую одежду пожарного:

а – использование ДАСВ «ОМЕГА-С»; *б* – спуск по лестнице при прохождении модуля «Лабиринт»; *в* – выход из задымленной зоны модуля «Лабиринт»

В эксперименте № 4 при прохождении модуля «Лабиринт» одновременно принимали участие 2 человека, это связано непосредственно со стажовкой друг друга в зоне ограниченной видимости, что характерно при работе оперативного персонала АЭС в условиях непригодной для дыхания среде при пожарах. После прохождения модуля произведена смена средств защиты между участниками испытания, и эксперимент был проведен повторно (рисунок 3.18).



Рисунок 3.18 – Смена участников эксперимента и его повторное проведение:

а – включение в ДАСВ на свежем воздухе; *б* – завершение прохождения модуля

Выводы:

В результате проведенного испытания, с заменой участников, выявлено следующее:

1. Применение дыхательного аппарата со сжатым воздухом «ОМЕГА-С» позволяет человеку произвести необходимые работы в условиях ограниченной видимости и воздействии опасных факторов пожара. Конструкция аппарата позволяет использовать его при преодолении узких проемов и по результатам испытаний можно сделать вывод о компактности ДАСВ и удобству работы в нем.

2. Применяемые в комплекте трехпалые краги заменены на защитные перчатки, вследствие этого удобство работы в комплекте средств защиты персонала АЭС улучшилось. В процессе передвижения по лабиринту перчатки не приходилось снимать, в отличие от трехпалых краг.

Эксперимент № 5

Место проведения эксперимента – учебно-тренировочный комплекс «Теплодымокамера». В данном эксперименте проводись испытания средств защиты персонала АЭС в условиях, приближенным к пожару (воздействие высокой температуры, задымленное не освещенное помещение, воздействие открытого пламени) (рисунок 3.19).

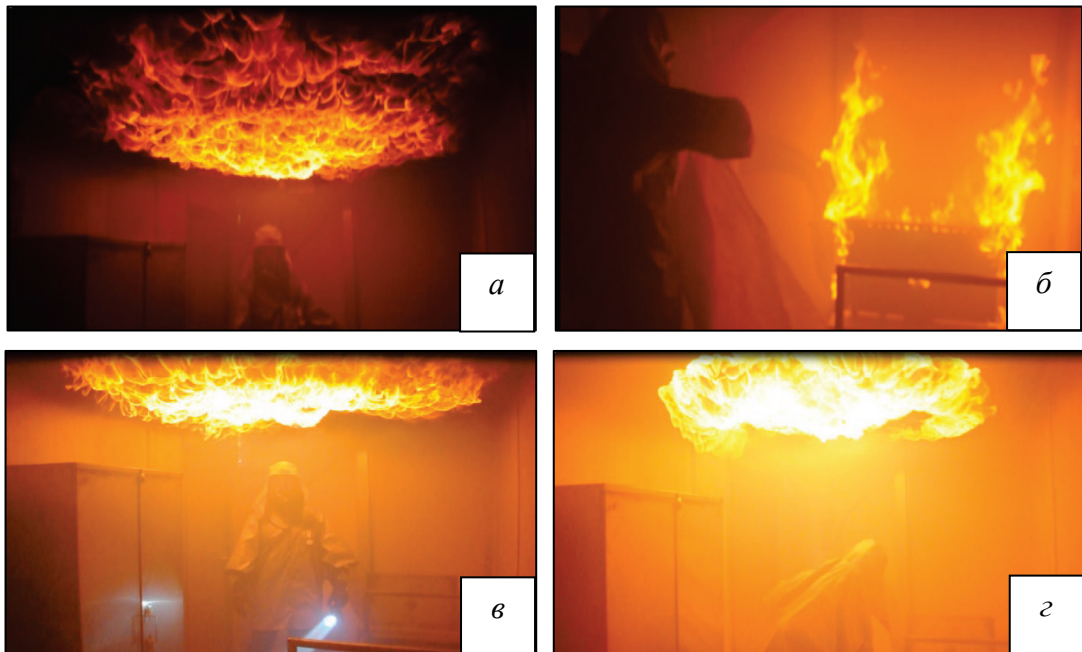


Рисунок 3.19 – Проведение испытаний средств защиты оперативного персонала АЭС в условиях, приближенным к пожару:

а – воздействие открытого пламени на участника эксперимента;

б – применение кошмы для локализации горения; *в, г* – поиск пострадавшего в помещении

Участникам эксперимента предлагалось осуществить тушение очага пожара при помощи противопожарного полотна (кошмы) путем изоляции возгорания. В качестве имитаторов возгорания использовались установки – горящий монитор, горение трубопроводов (рисунок 3.20).



Рисунок 3.20 – Тушение очага пожара путем изоляции возгорания:

а – тушение горящих трубопроводов путем изоляции возгорания; *б* – тушение горящего монитора

Также участникам эксперимента ставилась задача по отключению центрального электрического щита и эвакуация пострадавшего из задымленной зоны (рисунок 3.21).



Рисунок 3.21 – Мероприятия, проводимые оперативным персоналом в случаях возникновения пожаров в помещениях атомных электростанций:

а – отключение электрощита; *б* – обнаружение пострадавшего от пожара;
в, г – спасение пострадавшего и его транспортировка в безопасную зону

Выводы по экспериментам в целом

В результате проведенных экспериментов с использованием комплекта средств защиты оперативного персонала АЭС необходимо отметить следующее:

1. Использование промышленного кейса на колесах для доставки к месту пожара комплекта средств защиты персонала АЭС и технических средств для выполнения работ при пожаре уменьшает время реагирования и повышает удобство пользования комплектом.

2. Использование ДАСВ «ОМЕГА-С», предназначенного для защиты органов дыхания и зрения человека от вредного воздействия токсичной и задымленной газовой среды при проведении аварийно-спасательных работ в зданиях и сооружениях, на производственных объектах различных министерств и ведомств при пожаре, показало удобство работы в нем при проведении всех видов испытаний, а также простоту его использования и надежность узлов и агрегатов.

3. Использование защитной плащ-накидки для защиты тела человека от воздействия опасных факторов пожара по сравнению с боевой одеждой пожарного существенно облегчает работу человека в условиях задымленной и непригодной для дыхания среде, при средних и повышенных нагрузках, воздействии искр, теплового потока и открытого пламени в течение времени, необходимого для проведения эвакуации и спасения людей, проведению технологических отключений (переключений) и усиленных действий по тушению очага пожара до прибытия пожарных подразделений.

Замечания и дополнения, выявленные в ходе проведения испытаний:

1. В процессе проведения экспериментов выявлено, что необходимо произвести доукомплектование комплекта средств защиты следующими позициями:

- самоспасатель индивидуальный (СПИ-50);
- страховочный трос (по возможности светящийся) длиной 15 метров;
- карабин;
- боты диэлектрические;
- первичное средство пожаротушения аэрозольного типа;
- переговорное устройство.

2. Для быстроты и удобства надевания защитной каски при включении в дыхательный аппарат со сжатым воздухом произвести доработку подбородочного ремня каски, путем вставки быстроразъемного соединения.

3. Произвести доработку (подбор) защитной плащ-накидки с учетом удобства ее использования – нашить нагрудный карман для пожарного фонаря и боковой карман, а также коуш для подвеса топора пожарного.

3.3 Моделирование действий персонала при возникновении пожаров в типовых помещениях атомных электростанций

С учетом замечаний и предложений, выявленных в ходе проведенных испытаний передвижного комплекта технических средств обеспечения действий оперативного персонала АЭС при пожаре, произведена его доукомплектация необходимым перечнем оборудования (рисунок 3.22).



Рисунок 3.22 – Технические средства защиты и обеспечения действий персонала при воздействия опасных факторов пожара

В таблице 3.6 представлена спецификации оборудования, необходимого для выполнения действий оперативным персоналом АЭС в случае возникновения пожара.

Таблица 3.6 – Спецификация оборудования для обеспечения действий оперативного персонала при пожарах в помещениях атомных станций.

Наименование технических средств	Спецификация технических средств
<i>Средства защиты человека от воздействия опасных факторов пожара</i>	
Дыхательный аппарат со сжатым воздухом «Омега-С»	Предназначен для защиты органов дыхания и зрения человека от вредного воздействия токсичной и задымленной газовой среды при проведении аварийно-спасательных работ в зданиях и сооружениях, на производственных объектах различных министерств и ведомств
Защитная плащ-накидка	Предназначена для защиты тела человека от воздействия опасных факторов пожара (открытого огня, искр, теплового потока, брызг расплавленного металла)
Защитные краги	Предназначены для защиты рук от воздействия раскаленных предметов
<i>Технические средства для работы при возникновении пожара</i>	
Переговорное устройство ДСПУ-30 м	Дуплексное сигнальное переговорное устройство предназначено для передачи данных между двумя абонентами по проводной связи на расстояние до 30 м
Трос-сцепка	Является элементом страховки, предназначено для работы оперативного персонала АЭС в условиях задымленной среды при пожарах
Фонарь	Предназначен для улучшения видимости в задымленной и (или) загазованной среде при пожарах
Топор пожарный	Предназначен для вскрытия кровли, дверей, окон, разборки легких конструктивных элементов зданий и сооружений. Может использоваться в качестве зацепного устройства
Диэлектрический комплект (коврик, перчатки, боты)	Предназначен для защиты от поражения постоянным и переменным электрическим током, напряжение которого не превышает 1000 В (как основное средство защиты)
<i>Технические средства спасения людей</i>	
Самоспасатель СПИ-50	Предназначен для вывода, пострадавшего из пожара в условиях задымления
Специальная огнезащитная накидка «Шанс»	Предназначена для предотвращения возгорания одежды и защиты тела человека от открытого пламени, а также защиты спасаемого от повышенных температур и теплового излучения во время эвакуации в условиях пожара
<i>Средства оказания первой помощи пострадавшему</i>	
Медицинская аптечка	Предназначена для оказания первой помощи пострадавшему. Рекомендована к применению на предприятиях энергетической отрасли

Окончание таблицы 3.6

Наименование технических средств	Спецификация технических средств
<i>Первичные средства тушения пожаров в начальной стадии развития</i>	
Противопожарное полотно (кошма)	Предназначено для устранения горения материалов на начальной стадии возгорания. Тушение происходит путем прекращения доступа к ним кислорода
Первичное средство пожаротушения	Переносное устройство аэрозольного пожаротушения электропомещений и электрооборудования, находящегося под напряжением до 10 кВ, предназначено для тушения пожара в начальной стадии его развития

Сформированный минимально необходимый комплект технических средств защиты и обеспечения действий оперативным персоналом в случаях возникновения пожаров в помещениях АЭС размещен в промышленном кейсе на колесах, имеющем выдвижную рукоять для его транспортировки (рисунок 3.23).



Рисунок 3.23 – Технические средства защиты и обеспечения действий оперативного персонала АЭС, упакованные в промышленный кейс на колесах

Для определения возможностей выполнения действий в случаях возникновения пожаров в помещениях АЭС разработана модель действий оперативного персонала (рисунок 3.24).



Рисунок 3.24 – Модель действий оперативного персонала
в случаях возникновения пожаров в помещениях АЭС

Моделирование действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях АЭС позволяет выработать алгоритм необходимых мероприятий, начиная от момента обнаружения пожара посредством автоматической

пожарной сигнализации и показаний контрольно-измерительных приборов и заканчивая локализацией и ликвидацией пожара. Красным цветом на рисунке 3.24 отображаются не безопасные действия оперативного персонала, желтым – приемлемые действия персонала, сопровождающиеся большими энергозатратами человека, зеленым – рекомендуемые действия с минимальными показателями реагирования на пожар, меньшими энергозатратами и приемлемым уровнем безопасности.

3.3.1 Моделирование действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещении блочного щита управления атомных электростанций

На основе проведенного расчета развития опасных факторов пожара в помещении БЩУ АЭС с реактором типа РБМК-1000 определим временные показатели действий оперативного персонала АЭС $T_{\text{дейст.опер.персон}}$ с момента возникновения пожара, которые можно представить в следующем виде [74]:

$$T_{\text{дейст.опер.персон}} = T_{\text{обнаруж.пож}} + T_{\text{надев.сред.защ}} + T_{\text{развед}} + T_{\text{туш.}} + T_{\text{вых.НДС}} + T_{\text{перед.инф.пож}}, \quad (3.10)$$

где $T_{\text{обнаруж.пож}}$ – время, необходимое для обнаружения пожара, принимается равным 1 мин (время срабатывания автоматической пожарной сигнализации); $T_{\text{надев.сред.защ}}$ – время, необходимое персоналу, чтобы надеть средства защиты, принимается равным 4,5 мин (данные получены в ходе проведения экспериментов при участии оперативного персонала энергопредприятия) [75]; $T_{\text{развед}}$ – время, необходимое для сбора информации о нахождении людей в помещениях, их эвакуация и спасение (при необходимости), характере пожара, необходимости технологических переключений (отключений) оборудования – принимается равным 2,5 мин (данные получены в ходе проведения экспериментов при участии оперативного персонала энергопредприятия); $T_{\text{туш.}}$ – время, необходимое для тушения пожара первичными средствами пожаротушения принимаем равным 4 мин (данные получены теоретическим расчетом по методике) [76]; $T_{\text{вых.НДС}}$ – время, необходимое для выхода из непригодной для дыхания среды, принимается равным 3 мин (данные получены в ходе проведения эксперимента при участии оператив-

ного персонала энергопредприятия); $T_{\text{перед.инф.пож}}$ – время, необходимое для передачи информации пожарным, принимается равным 2 мин.

На рисунке 3.25 представлена модель действий оперативного персонала БЦУ АЭС при возникновении пожара в условиях развития ОФП, с использованием передвижного комплекта технических средств, упакованных в промышленный кейс на колесах [77].

1. Получение сигнала, реагирование на пожар

($T = 1$ мин)



2. Надевание средств защиты, включение в ДАСВ (по необходимости)

($T = 2-5,5$ мин)



3. Сбор информации, технологические переключения, вывод РУ в подкритичное состояние (по необходимости)

($T = 5,5-8$ мин)



4. Посильное тушение пожара первичными средствами пожаротушения

($T = 8-12$ мин)



5. Выход из НДС, переход на запасный ЩУ

($T = 12-15$ мин)



6. Передача информации пребывающим пожарным подразделениям ($T = 15\text{--}17$ мин)



Рисунок 3.25 – Модель действий оперативного персонала в помещении БЦУ АЭС при возникновении пожара и распространении опасных факторов пожара

3.3.2 Моделирование действий оперативного персонала при пожарах в помещении машинного зала атомных электростанций с реактором большой мощности канальным

На рассматриваемой в работе АЭС эксплуатируются три энергоблока с реакторами РБМК-1000. Три энергоблока станции имеют общий машинный зал длиной 654 м, шириной 51 м и высотой около 33 м (рисунок 3.26).



Рисунок 3.26 – Машинный зал атомной станции с реактором типа РБМК

Повышенную пожарную опасность атомной электростанции создают:

- смазочные масла, обращающиеся в производстве при температурах выше $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, превышающую температуру самовоспламенения;

- электрические кабели, объединенные в крупные потоки и имеющие горючую изоляцию;
- водород, используемый в системе охлаждения генератора.

Временные показатели действий оперативного персонала АЭС, находящихся в помещениях машинного зала, можно представить в следующем виде:

$$T_{\text{дейст.опер.персон}} = T_{\text{обнаруж.пож}} + T_{\text{сообщ.опер.персон}} + T_{\text{сбор}} + T_{\text{движ}} + \\ + T_{\text{надев.сред.защ}} + T_{\text{развед}} + T_{\text{сбор.вых.НДС}} + T_{\text{перед.инф.пож}}, \quad (3.11)$$

где $T_{\text{обнаруж.пож}}$ – время, необходимое для обнаружения пожара, принимается равным 1 мин (время срабатывания автоматической пожарной сигнализации и контрольно-измерительных приборов); $T_{\text{сообщ.опер.персон}}$ – время, необходимое оперативному персоналу для передачи информации начальнику смены и пожарно-спасательное подразделение, получение дальнейших указаний, принимается равным 1–2 мин; $T_{\text{сбор}}$ – время, необходимое персоналу для сбора средств защиты, принимается равным 1–2 мин (технические средства защиты персонала находятся на отметке + 10,500 м в помещении старшего смены цеха); $T_{\text{движ}}$ – время, необходимое оперативному персоналу АЭС для осуществления движения к месту пожара, рассчитывается по формуле $T_{\text{движ}} = T_{\text{движ.горизонт.поверх}} + T_{\text{подъем/спуск}}$, где $T_{\text{движ.горизонт.поверх}} = S / V = 260 / 100 = 2,5$ мин (зависит от места возникновения пожара и места расположения средств защиты оперативного персонала АЭС); $T_{\text{подъем/спуск}}$ – время, необходимое оперативному персоналу для доступа на различные высотные отметки расположения технологического оборудования, принимаем в соответствии с данными [78], (таблица 3.7), где спуск по лестничным маршам принимаем – 8 м/мин, подъем – 9,9 м/мин, тогда $T_{\text{спуск}} = 24 / 8 = 3$ мин, и тогда $T_{\text{движ}} = 2,5 + 3 = 5,5$ мин; $T_{\text{надев.сред.защ}}$ – время, необходимое персоналу, чтобы надеть средства защиты, принимается равным 4,5 мин (данные получены в ходе проведения экспериментов при участии оперативного персонала энергопредприятия), $T_{\text{развед}}$ – время, необходимое для сбора информации о нахождении людей в помещениях, их эвакуация и спасение (при необходимости), характере пожара, необходимости технологических переключений (отключений) оборудования – принимается равным 2,5 мин (данные получены в ходе проведения экспериментов при участии оперативного персонала энергопредприятия); $T_{\text{вых.НДС}}$ – время, необходимое для выхода из непригодной для ды-

хания среды, принимается равным 3 мин (данные получены в ходе проведения эксперимента при участии оперативного персонала энергопредприятия); $T_{\text{перед.инф.пож}}$ – время, необходимое для передачи информации пожарным, принимается равным 2 минуты.

Таблица 3.7. – Интенсивность движения по горизонтальной поверхности, спуску (или подъему) по лестничным маршам

Плотность потока D , м ² /м	Горизонтальный путь		Дверной проем	Лестница вниз		Лестница вверх	
	Скорость V , м/мин	Интенсивность q , м/мин	Интенсивность q , м/мин	Скорость V , м/мин	Интенсивность q , м/мин	Скорость V , м/мин	Интенсивность q , м/мин
0,01	100	1	1	100	1	60	0,6
0,05	100	5	5	100	5	60	3
0,1	80	8	8,7	95	9,5	53	5,3
0,2	60	12	13,4	68	13,6	40	8
0,3	47	14,1	16,5	52	16,6	32	9,6
0,4	40	16	18,4	40	16	26	10,4
0,5	33	16,5	19,6	31	15,6	22	11
0,7	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,8	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
0,9 и более	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

На рисунке 3.27 представлена модель действий оперативного персонала машинного зала АЭС при возникновении пожара, в условиях распространения опасных факторов пожара.

1. Обнаружение пожара, сообщение НСС, ПСЧ, сбор, начало движения



2. Движение ОП АЭС к месту пожара



3. Прибытие к месту возникновения пожара

Видимость
Температура
Пониженная концентрация кислорода ≤ 3 мин



4. Надевание средств защиты, включение в ДАСВ

($T = 10,5 - 14$ мин)



5. Сбор информации, проведение технологических переключений (при необходимости)

($T = 14 - 17,5$ мин)



6. Посильное тушение пожара первичными средствами пожаротушения (в конкретном случае не учитывается)



7. Выход из НДС в связи с распространением опасных факторов пожара

($T = 17,5 - 20,5$ мин)



8. Передача информации пребывающим пожарным подразделениям

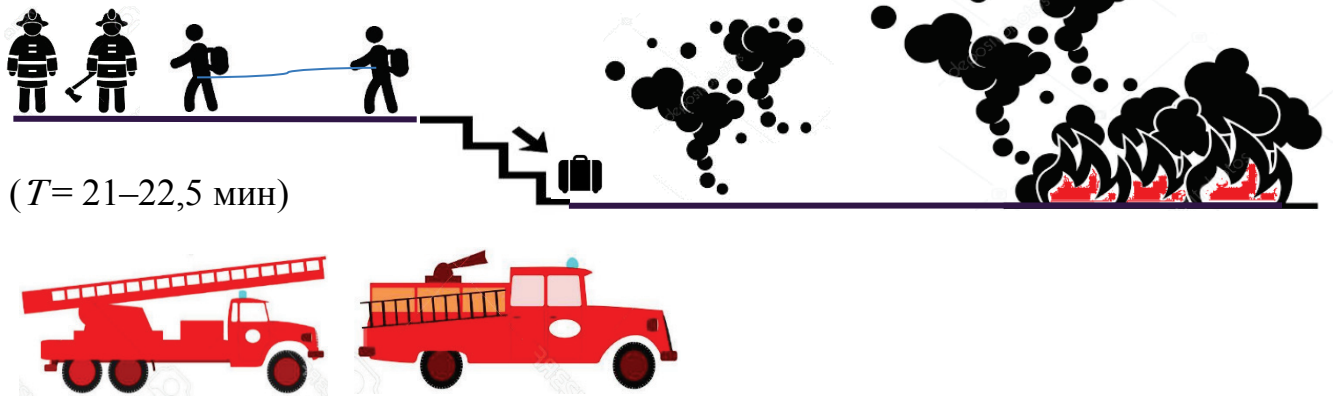


Рисунок 3.27 – Модель действий оперативного персонала в помещении машинного зала АЭС при возникновении пожара и распространении опасных факторов

3.4 Применение интервального анализа к оценке временных характеристик действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций

В природе многие процессы могут складываться из нескольких операций, обладающих временными характеристиками. Эти характеристики являются, как правило, недетерминированными – вероятностными [79], нечеткими [80] или интервальными [81]. Моделирование таких процессов может предусматривать совершение алгебраических действий с недетерминированными величинами – сложение, вычитание, перемножение, деление, взятие функций. Действия с вероятностными величинами рассмотрены, например, в работах [79] и [82], действия с нечеткими величинами – в трудах [80] и [83], действия с интервальными величинами – в публикациях [81] и [82]. Результатом вычислений будут соответственно вероятностные, нечеткие и интервальные величины.

Применительно к вопросам обеспечения пожарной безопасности на атомных электростанциях [84] будут рассмотрены вопросы действий с интервальными величинами. При этом используются следующие положения [82, 85]:

а) интервальное число $[x] = [x_m, x_6]$ равномерно распределено на отрезке с левой границей x_m и правой границей x_6 ;

б) в результате действий с двумя интервальными числами $[x_1]$ и $[x_2]$ также получается интервальное число $[y] = [y_m, y_6]$, границы которого определяются по выражению:

$$\begin{bmatrix} y_m \\ y_6 \end{bmatrix} = \alpha_1 \mp \sqrt{3(\alpha_2 - \alpha_1^2)} \quad (3.12)$$

где α_1, α_2 – параметры (начальные моменты), которые для некоторых алгебраических действий приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Начальные моменты для определения границ результирующего интервального числа при арифметических действиях

Действие	$[y]=f([x_1],[x_2])$	α_1	α_2
Сложение, вычитание	$[y]=[x_1]\pm[x_2]$	$\frac{x_{1m} + x_{16} \pm x_{2m} \pm x_{26}}{2}$	$\pm \frac{(x_{1m} + x_{16})(x_{2m} + x_{26})}{2} + \frac{x_{1m}^2 + x_{1m}x_{16} + x_{16}^2 + x_{2m}^2 + x_{2m}x_{26} + x_{26}^2}{3}$
Умножение	$[y]=[x_1][x_2]$	$\frac{(x_{1m} + x_{16})(x_{2m} + x_{26})}{4}$	$\frac{(x_{1m}^2 + x_{1m}x_{16} + x_{16}^2)(x_{2m}^2 + x_{2m}x_{26} + x_{26}^2)}{9}$
Деление	$[y] = \frac{[x_1]}{[x_2]}$	$\frac{x_{1m} + x_{16}}{2(x_{26} - x_{2m})} \ln \frac{x_{26}}{x_{1m}}$	$\frac{x_{1m}^2 + x_{1m}x_{16} + x_{16}^2}{3x_{2m}x_{26}}$
Обратная величина	$[y] = \frac{1}{[x_1]}$	$\frac{1}{x_{16} - x_{1m}} \ln \frac{x_{16}}{x_{1m}}$	$\frac{1}{x_{1m}x_{16}}$

Примечание: границы интервалов могут быть определены экспертными методами или по результатам экспериментов.

При алгебраических действиях над n интервальными числами $[x_1], [x_2], \dots, [x_n]$ сохраняются правила аддитивности и коммутативности [86]. Например, при сложении трех ($n=3$) интервальных чисел:

$$[y] = [x_1] + [x_2] + [x_3] = [x_1] + [x_4] = [x_3] + [x_5], \quad (3.13)$$

где $[x_4] = [x_2] + [x_3]$; $[x_5] = [x_1] + [x_2]$.

При сложении/умножении:

$$[y] = [x_1]([x_2] + [x_3]) = [x_1][x_2] + [x_1][x_3] = [x_3][x_1] + [x_1][x_2]. \quad (3.14)$$

В частном случае, когда имеет место «цепочка» сложений, то можно пользоваться следующим правилом: математическое ожидание y_{cp} результирующей

интервальной величины $[y]$ равно сумме математических ожиданий суммируемых чисел, а дисперсия D_y – сумме дисперсии [87].

Из этого следуют соотношения:

$$\begin{bmatrix} y_m \\ y_{\sigma} \end{bmatrix} = 0,5 \left[\sum_{i=1}^n (x_{im} + x_{i\sigma}) \mp \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{i\sigma} - x_{im})^2} \right] \quad (3.15)$$

Далее в работе будут рассмотрены примеры использования данного подхода к оценке временных характеристик действий оперативного персонала атомной электростанции до прибытия пожарных подразделений.

3.4.1 Оценка суммарного времени действий оперативного персонала при пожаре на щите управления атомной электростанции

Требуется дать оценку суммарного времени действий оперативного персонала при пожаре на щите управления (ЩУ) атомной электростанции. Известно, что эти действия состоят из шести ($n = 6$) этапов [74], а продолжительность каждого этапа – интервальная величина $[t_{im}, t_{i\sigma}]$, приведенная в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Временные характеристики этапов действий оперативного персонала при пожаре на щите управления атомной станции

Этап	1. Получение сигнала о пожаре	2. Надевание СЗ, включение в ДАСВ	3. Сбор информации, проведение переключений	4. Тушение пожара первичными средствами пожаротушения	5. Выход из НДС, переход на запасный ЩУ	6. Передача информации прибывающим пожарным
t_{im} , мин	0,5	4,0	2	3	2,0	1,0
$t_{i\sigma}$, мин	1,5	5,0	3	5	4,0	3,0

В итоге из выражения (4) получаем:

$$\begin{bmatrix} y_m \\ y_{\sigma} \end{bmatrix} = 0,5 \left[1 + 1,5 + 4 + 5 + 2 + 3 + 3 + 5 + 2 + 4 + 1 + 3 \mp \sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2 + 2^2 + 2^2 + 2^2} \right] = 17,00 \mp 3,87.$$

Таким образом, получена интервальная оценка общего времени действий оперативного персонала при пожаре на щите управления атомной электростанции: $[y] = [13,13; 20,87]$ мин.

3.4.2 Оценка суммарного времени действий оперативного персонала при пожаре в помещении машинного зала атомной электростанции

Требуется дать оценку суммарного времени действий оперативного персонала при пожаре в машинном зале атомной электростанции. Известно, что эти действия состоят из восьми ($n = 8$) этапов [74], а продолжительность каждого этапа – также интервальная величина $[t_{iм}, t_{iб}]$, приведенная в таблице 3.10

Таблица 3.10 Временные характеристики этапов действий оперативного персонала при пожаре в машинном зале атомной электростанции

Этап	1. Обнаружение пожара	2. Сообщение НСС, ПСЧ по охране АЭС	3. Время сбора средств защиты	4. Движение к месту пожара	5. Одевание СЗ, включение в ДАСВ	6. Сбор информации, переключения, тушение	7. Выход из зоны НДС	8. Передача информации прибывающим пожарным
$t_{iм}, \text{мин}$	0,5	1	1	5	4	2	2,0	1,0
$t_{iб}, \text{мин}$	1,5	3	3	6	5	3	4,0	3,0

В итоге из выражения (4) получаем:

$$\begin{bmatrix} y_m \\ y_b \end{bmatrix} = 0,5 \left[0,5 + 1,5 + 1 + 3 + 1 + 3 + 5 + 6 + 4 + 5 + 2 + 3 + 2 + 4 + 1 + 3 \mp \sqrt{1^2 + 2^2 + 2^2 + 1^2 + 1^2 + 1^2 + 2^2 + 2^2} \right] = 22,50 \mp 4,47$$

Таким образом, получена интервальная оценка общего времени действий оперативного персонала при пожаре в машинном зале атомной электростанции: $[y] = [18,03; 26,97]$ мин.

С использованием интервального анализа становится возможным с большей объективностью оценивать временные характеристики действий оперативного персонала при пожарах на атомных электростанциях. Это, в свою очередь, позво-

лит пожарно-спасательным подразделениям по охране АЭС объективно планировать действия по тушению пожаров, а учебно-тренировочным центрам АЭС эффективно готовить должностных лиц станции к действиям при возникновении пожаров в помещениях АЭС, в начальной стадии их развития [88].

3.5 Оценка возможностей транспортировки передвижного комплекта по различным поверхностям

Для оценки возможностей транспортировки передвижного комплекта технических средств обеспечения действий персонала АЭС по различным поверхностям проведена серия экспериментов на учебно-тренировочных объектах Академии ГПС МЧС России.

Определялись следующие параметры:

- возможности транспортировки средств защиты, упакованных в промышленный кейс на колесах по различным поверхностям, наружным металлическим лестницам, лестничным маршам, пандусам, имеющим различные углы наклона;
- значения усилий, создаваемых при транспортировке комплекта по различным видам поверхностей.

Для достижения целей необходимо решить ряд задач исследования, таких как:

- установить возможность транспортировки комплекта по горизонтальным и наклонным поверхностям;
- дать оценку удобства транспортировки комплекта по различным покрытиям;
- провести замер усилий человека, осуществляющего транспортировку комплекта.

В таблице 3.11 представлено оборудование, необходимое для проведения испытаний.

Условия проведения экспериментов: эксперименты проводились на объектах Академии ГПС МЧС России, имеющих лестничные марши, наружные металлические лестницы с различным углом наклона, пандусы с различными видами покрытий (асфальт, тротуарная брусчатка, керамогранитная плитка, кровельный

рубероид, ламинат). Температура окружающего воздуха составляла от 3 до 25 °С. Вес комплекта – порядка 36 кг.

Таблица 3.11 – Спецификация оборудования, необходимое для проведения испытаний

Наименование оборудования	Назначение	Количество
Передвижной комплект средств защиты для обеспечения действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях АЭС	Защита персонала энергопредприятий при выполнении работ в условиях воздействия опасных факторов пожара	1 шт.
Динамометр растяжения-сжатия DACELL FGA-T2	Для определения силы необходимой для транспортировки комплекта по различным поверхностям	1 шт.
Рулетка со стальной лентой	Измерение геометрических размеров	1 шт.
Цифровой фотоаппарат	Фото и видео фиксация экспериментов	1 шт.
Карабин пожарный	Закрепление передвижного комплекта к динамометру для снятия показаний	2 шт.

В проведении экспериментов задействованы два участника, имеющие различные антропометрические данные и подготовку (таблица 3.12).

Таблица 3.12 – Антропометрические данные участников экспериментов

№ п/п	Лица, привлекаемые для проведения испытаний	Рост, м	Вес, кг	Возраст
1	Участник 1	176	85	31
2	Участник 2	183	80	20

Для проведения экспериментальных испытаний использовался динамометр растяжения-сжатия (рисунок 3.28) для определения значений усилий, создаваемых при транспортировке комплекта по различным горизонтальным и наклонным поверхностям [89].

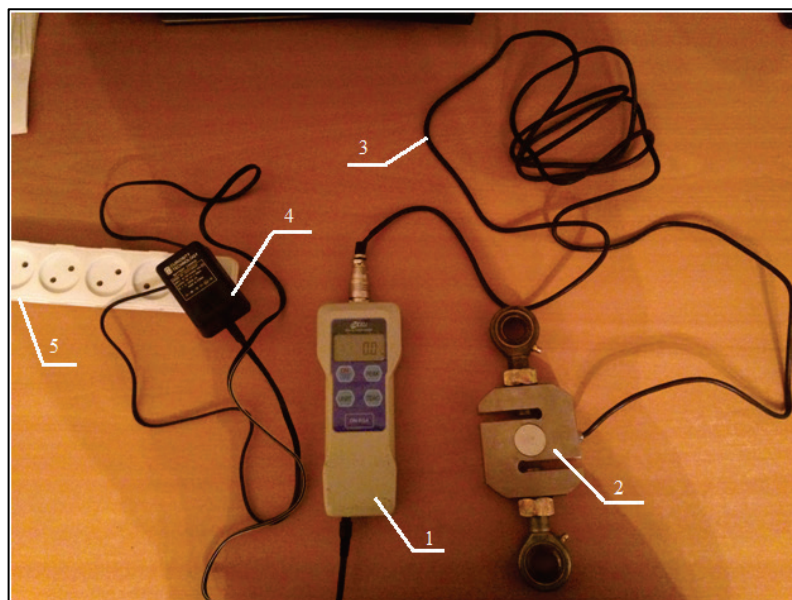


Рисунок 3.28 – Динамометр растяжения-сжатия DACELL FGA-T2

1 – внешний датчик фиксации значений растяжения-сжатия с функцией «пика»; 2 – динамометр растяжения-сжатия с проушинами для закрепления грузов; 3 – кабель для передачи сигнала от прибора к датчику; 4 – блок для зарядки датчика фиксации значений; 5 – источник питания для зарядки датчика фиксации значений

Прибор разработан для преобразования силы в показания индикатора с высоким разрешением и точностью. Удобен для измерений сил сжатия-растяжения, проведения различных испытаний в лабораторных и полевых условиях.

Основными преимуществами прибора являются:

- простая настройка: клавиатура приспособлена к управлению различными режимами измерений;
- функция удержания пика;
- интерфейс RS232C;
- эргономичный, прочный металлический корпус;
- конвертация в различные единицы (Н, кГс, lbf);
- набор аксессуаров, адаптер $\sim$ /=, зарядка, футляр.

Основные показатели прибора отражены в таблице 3.13:

Таблица 3.13 – Основные параметры динамометра FGA-T2

Модель	Диапазон	Минимальная нагрузка	Датчик	Погрешность
FGA-T2	2000 кг	1 кг	Внешний	$\pm 0,2$ %

Особенностью прибора является его универсальность и способность работать продолжительное время без источника внешнего питания. При использовании прибора возможна конвертация показателей в различные единицы (Н, кГс, lbf), что позволяет оператору получать значения в интересующих его величинах. Наличие шарниров с проушинами на концах динамометра позволяет закреплять его за конструкции при помощи средств фиксации, а также подвешивать грузы для измерения сил растяжения. Максимально допустимая нагрузка, при которой работоспособность сохраняется равна 2000 кг.

Порядок проведения эксперимента

К выдвижной рукояти передвижного комплекта, с помощью пожарного карабина одним концом прикреплен динамометр растяжения-сжатия, другой конец динамометра находится у участника эксперимента. Участник эксперимента двигаясь равномерно, тянет за собой передвижной комплект и с помощью цифрового интерфейса прибора получает значения затраченной силы (рисунок 3.29).



Рисунок.3.29 – Измерение силы, необходимой для транспортировки передвижного комплекта по плиточной поверхности пандуса с углом наклона 10°

Для уточнения достоверности полученных результатов измерения проводились повторно в той же последовательности.

На рисунке 3.30 представлены эксперименты по измерению силы при транспортировке комплекта по горизонтальным поверхностям, имеющим различные виды покрытий.



Рисунок 3.30 – Измерение силы, необходимой для транспортировки комплекта по различным поверхностям:
а – керамогранитная плитка; *б* – ламинат; *в* – брусчатка; *з* – асфальт

На рисунке 3.31 представлены проведенные эксперименты по замерам сил и возможностям транспортировки передвижного комплекта по узким металлическим лестницам, имеющим различные углы наклона – от 40 до 70°.

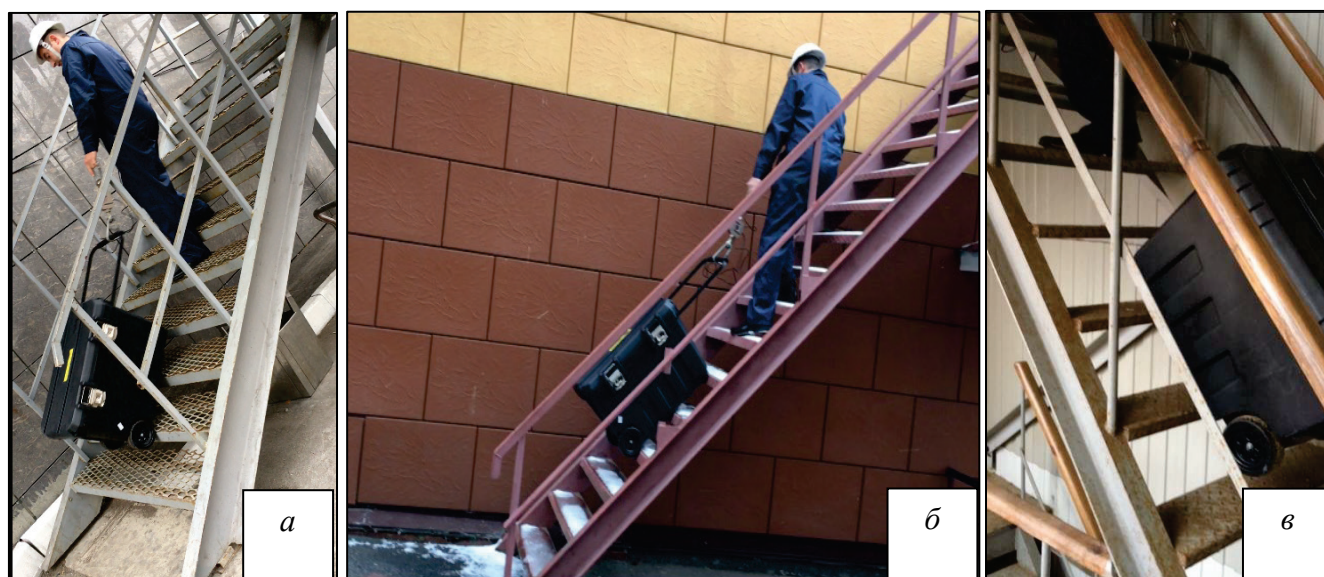


Рисунок 3.31 – Измерение силы, необходимой для транспортировки комплекта по наружным металлическим лестницам, с углом наклона: *а* – 40°, *б* – 65°, *в* – 70°

На рисунке 3.32 представлены проведенные эксперименты по измерению силы при транспортировке комплекта по лестничным маршам, имеющим угол наклона от 35 до 50° и пандусам, с углом наклона от 10 до 30°.



Рисунок 3.32 – Измерение силы, необходимой для транспортировки передвижного комплекта по железобетонным лестницам и пандусу с углом наклона:

a – 40°; *б* – 50°; *в* – 15°

Результаты проведенных экспериментов внесены в таблицу 3.14.

Таблица 3.14 – Результаты экспериментов по транспортировке комплекта по различным поверхностям

№ п/п	Место проведения	Наименование покрытия	Значение создаваемого усилия, кГс	Наибольшее значение, кГс
<i>Горизонтальная поверхность</i>				
1.	Плац Академии ГПС МЧС России	Асфальт	10,3	10,3
			10,3	
			10,2	
2	Кровля корпуса № 3	Кровельный рубероид	5,7	5,7
			5,5	
			5,6	
3	Аудитория № 619 корпус № 3	Ламинат	8,7	8,7
			8,7	
			8,5	
4	1 этаж корпуса № 3	Керамогранитная плитка	9,3	9,3
			9,2	
			9,1	

Окончание таблицы 3.14

№ п/п	Место проведения	Наименование покрытия	Значение со- здаваемого усилия, кГс	Наибольшее значение, кГс
Наклонная поверхность (пандус)				
1	Пандус площадки учебного корпуса № 4	Брусчатка, угол наклона 10°	11,3	11,3
			11,0	
			11,2	
2	Пандус учебного корпуса № 3	Плитка, угол наклона 15°	12,6	12,7
			12,6	
			12,7	
3	Пандус учебного корпуса № 2	Керамогранитная плитка, угол наклона 30°	15,4	15,5
			15,5	
			15,4	
Железобетонные лестницы				
1	Учебный корпус № 3, вход в подвал	Керамогранитная плитка, угол наклона 40°	26,6	26,6
			26,4	
			26,3	
2	Учебный корпус № 1, вход в подвал	Керамогранитная плитка, угол наклона 50°	29,0	29,4
			29,4	
			29,4	
Наружные металлические лестницы				
1	Запасная наружная металлическая лест- ница учебного корпуса № 3	Металлическая решетка, угол наклона 40°, ширина 1,5 м	26,9	27,1
			27,1	
			27,0	
2	Запасная наружная металлическая лест- ница учебного корпуса № 4	Материал проступи – листовая штам- пованная сталь, угол наклона 65°, ширина 0,9 м	32,6	32,6
			32,5	
			32,6	
3	Металлическая лестница учебной башни	Материал проступи – листовая штам- пованная сталь, угол наклона 70°, ширина 0,8 м	35,6	35,6
			35,2	
			34,8	

В ходе проведения экспериментов были получены значения силы, необходимой для транспортировки комплекта по различным горизонтальным и наклонным поверхностям. Установлено, что по металлическим лестницам, с углом наклона 65° и 70° и шириной 0,9 и 0,8 м, соответственно, существует возможность транспортировки комплекта. Разница значений силы при транспортировке комплекта по горизонтальным поверхностям различных покрытий не велика.

Установлены показатели энергозатрат человека по транспортировке комплекта по горизонтальным, наклонным поверхностям, лестничным маршам и наружным металлическим лестницам, имеющим различные углы наклона (таблица 3.15).

Таблица 3.15 – Энергозатраты человека на транспортировку комплекта средств защиты по различным поверхностям

№	Наименование покрытия, угол наклона	Наибольшее значение, кГс	Дж	Вт*
<i>Горизонтальная поверхность</i>				
1	Асфальт	10,3	303,129	75,78
2	Кровельный рубероид	5,7	167,751	41,94
3	Ламинат	8,7	256,041	64,01
4	Керамогранитная плитка	9,3	273,699	68,42
<i>Наклонная поверхность (пандус)</i>				
1	Брусчатка, угол наклона 10°	11,3	332,559	83,14
2	Плитка, угол наклона 15°	12,7	373,761	93,44
3	Керамогранитная плитка, угол наклона 30°	15,5	456,165	114,041
<i>Железобетонные лестницы</i>				
1	Керамогранитная плитка, угол наклона 40°	26,6	782,838	195,71
2	Керамогранитная плитка, угол наклона 50°	29,4	865,242	216,31
<i>Наружные металлические лестницы</i>				
1	Металлическая решетка, угол наклона 40°, ширина 1,5 м	27,1	797,553	199,39
2	Материал проступи – листовая штампованная сталь, угол наклона 65°, ширина 0,9 м	32,6	959,418	239,85
3	Материал проступи – листовая штампованная сталь, угол наклона 70°, ширина 0,8 м	35,6	1047,708	261,927

*Примечание: $1 \text{ кГс} = 1 \text{ кг} \cdot 9,81 \text{ м/с}^2 = 9,81 \text{ Н}$; $A = FS \text{ Дж}$; S – перемещение (принимается значение 3 м), $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж} / 1 \text{ с}$ (время движения принимается 4 с)

Выводы по третьей главе

В третьей главе настоящей диссертационной работы автором произведен расчет энергозатрат человека по транспортировке оборудования к месту возможного возникновения пожара в помещении машинного зала АЭС. Результаты расчета показали, что только при переносе необходимых средств защиты вручную человек затратит порядка 416 Вт, что можно приравнять к таким тяжелым видам

работ, как работы в литейных и кузнечных цехах, металлургических предприятиях. При этом необходимо понимать, что возможности человека не безграничны и достаточно большое количество энергии человека уйдет именно на выполнение действий в условиях воздействия опасных факторов пожара. В целях минимизации энергозатрат человека на транспортировку оборудования и уменьшению времени реагирования на пожар разработан передвижной комплект технических средств, предназначенный для выполнения персоналом перечня работ в случаях возникновения пожаров на АЭС в начальной стадии его развития.

Проведена серия натурных экспериментов по работе с комплектом, а также апробация средств защиты персонала от воздействия опасных факторов пожара на базе учебно-тренировочных модулей. Выводы экспериментов показали, что применение комплекта технических средств защиты персонала, в сравнении с боевой одеждой и экипировкой пожарного, позволяет наряду с удобством пользования обеспечить необходимый уровень защиты человека в начальной стадии развития пожара и облегчить работу в них.

Произведенный расчет развития опасных факторов пожара позволил смоделировать действия оперативного персонала щитов управления и машинного зала АЭС с момента возникновения пожара до прибытия пожарных подразделений. Временные интервалы действий оперативного персонала составили:

- для помещения блочного щита управления – [13,13; 20,87] мин.;
- для помещения машинного зала – [18,03; 26,97] мин.

Примененный в диссертационной работе математический метод интервального анализа к оценке временных характеристик действий оперативного персонала АЭС подтвердил временные параметры действий персонала, полученные при проведении экспериментальных испытаний, а также позволит объективно планировать мероприятия по тушению пожаров в помещениях АЭС и эффективно готовить персонал к действиям до прибытия пожарно-спасательных подразделений.

В заключительной части раздела представлены результаты натурных экспериментов по транспортировке передвижного комплекта по различным поверхностям. Полученные результаты экспериментов позволяют:

- сопоставить значения, полученные путем теоретического расчета и практических исследований, определить погрешности измерений;
- разработать рекомендации по транспортировке передвижного комплекта технических средств для обеспечения действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях АЭС.

ГЛАВА 4

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ И МЕТОДИКИ ПОДГОТОВКИ
ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА К ДЕЙСТВИЯМ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ
ПОЖАРОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ4.1 Порядок подготовки и применение передвижного комплекта технических
средств оперативным персоналом атомной электростанции

В процессе выполнения диссертационной работы разработан алгоритм подготовки и применения передвижного комплекта оборудования оперативным персоналом на АЭС в круглосуточном сменном режиме работы [90].

I этап – подготовка передвижного комплекта технических средств к использованию.

Порядок подготовки комплекта включает в себя:

- заправку ДАСВ воздухом, проведение технического обслуживания ДАСВ (в соответствии с требованиями технической документации на изделие);
- проверку сроков годности самоспасателя (СПИ-50) и медицинской аптечки для энергетических предприятий;
- проверку работоспособности переговорного устройства, при необходимости его зарядку, а также визуальный осмотр исправности технических средств защиты.

После проведения вышеуказанных мероприятий должностное лицо, ответственное за подготовку комплекта (определяется АЭС самостоятельно), производит укладку оборудования в промышленный кейс. Кейс снабжен быстроразъемными замками с возможностью пломбировки [91]. Пломбировка комплекта осуществляется в целях предотвращения несанкционированного доступа посторонних лиц и может быть выполнена с использованием одноразовых (или номерных) пластиковых, металлических либо бумажных (в виде наклейки) пломб (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Варианты пломбировки промышленного кейса

Вскрытие пломбировки кейса осуществляется только в случаях:

- применения оборудования оперативным персоналом АЭС при реагировании на пожар;
- установленным должностным лицом для проведения периодического технического обслуживания.

II этап – использование передвижного комплекта оперативным персоналом АЭС в дежурной смене.

Полномочиями АЭС самостоятельно определяются перечни должностей, обеспечиваемых комплектом. При заступлении на дежурство сменяющееся должностное лицо передает заступающему комплект, при этом проводится визуальная проверка наличия пломбы и показаний выносного индикатора давления ДАСВ (крышка кейса оснащена смотровым окном для осмотра выносного индикатора давления ДАСВ, рисунок 4.2). При нахождении стрелки индикатора в зеленой зоне – дыхательный аппарат заправлен воздухом и готов к работе, при ее выходе из зеленой зоны – дыхательный аппарат передается на перезарядку (в составе комплекта). При сдаче-приемке комплекта необходимо сделать запись в журнал учета исправности комплекта, находящийся на рабочем месте оперативного персонала АЭС.

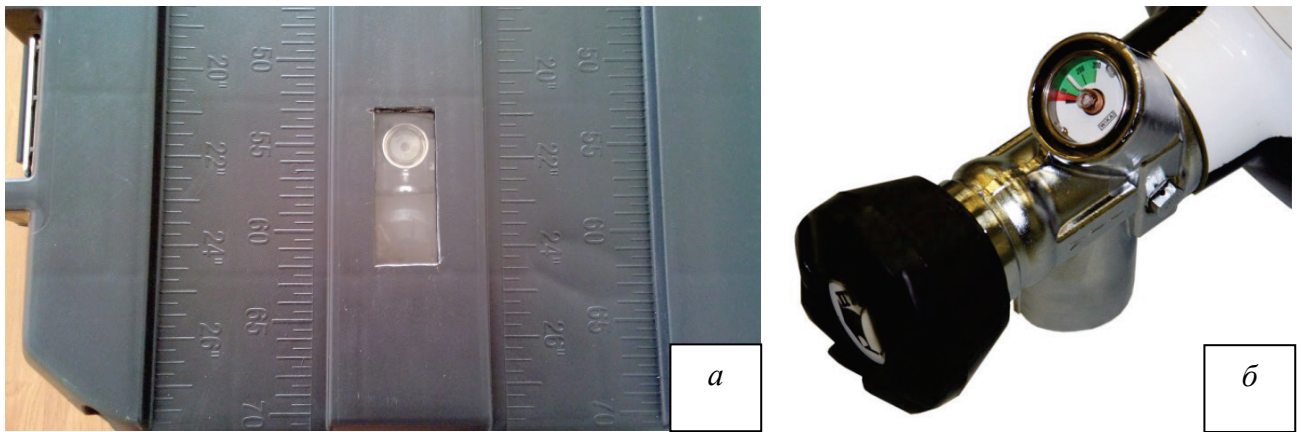


Рисунок 4.2 – Расположение смотрового окна в крышке кейса
для осмотра выносного индикатора давления ДАСВ:

а– смотровое окно промышленного кейса; *б* – индикатор давления ДАСВ

III этап – использование комплекта при возникновении пожара.

При получении сигнала о пожаре должностные лица из числа оперативного персонала АЭС выдвигаются к месту происшествия для сбора необходимой информации с передвижным комплектом оборудования. В случаях воздействия опасных факторов пожара – должностное лицо из числа оперативного персонала АЭС самостоятельно выбирает перечень необходимых средств защиты (при необходимости работы в загазованной и (или) НДС – использует ДАСВ) [92].

Проведение работ в ДАСВ осуществляется с использованием переговорного устройства и страховочной сцепки, прикрепленной одним концом к кейсу, другим к дыхательному аппарату. Осуществление данного вида работ проводится с учетом требований охраны труда не менее чем 2 должностными лицами, при этом видимость в дыму (загазованная зона) не должна быть менее 5 метров при включенном фонаре [93]. После использования комплект передается на техническое обслуживание и заправку ДАСВ воздухом.

В качестве рекомендаций по размещению передвижных комплектов технических средств в помещениях АЭС необходимо отметить следующее:

– в помещениях щитов управления передвижные комплекты необходимо размещать в непосредственной близости от рабочего места оперативного персонала для их экстренного применения при выполнении действий по выведению реакторной установки в подкритичное состояние (рисунок 4.3).

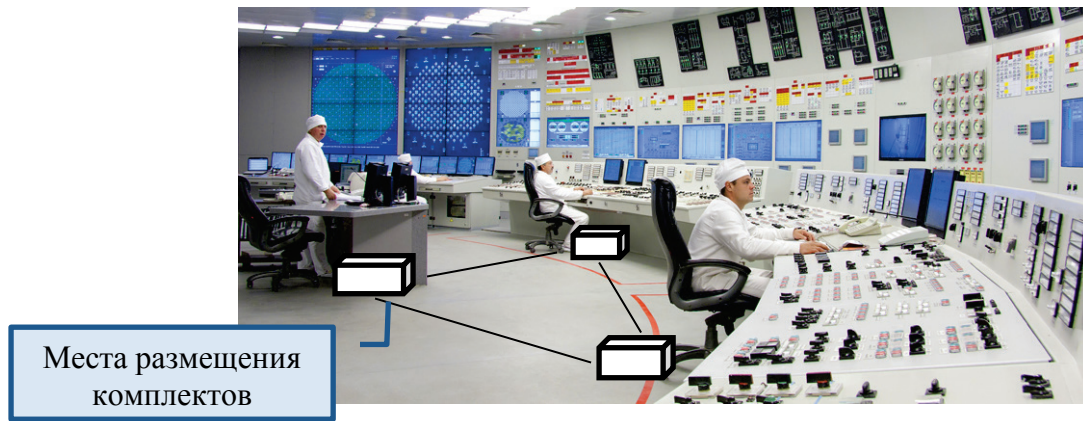


Рисунок 4.3 – Места предлагаемого размещения передвижных комплектов технических средств на примере блочного щита управления АЭС с реактором типа РБМК

– применительно к машинному залу размещать передвижные комплекты необходимо по принципу защитных зон, исходя из мест дислокации оперативного персонала АЭС (рисунок 4.4).

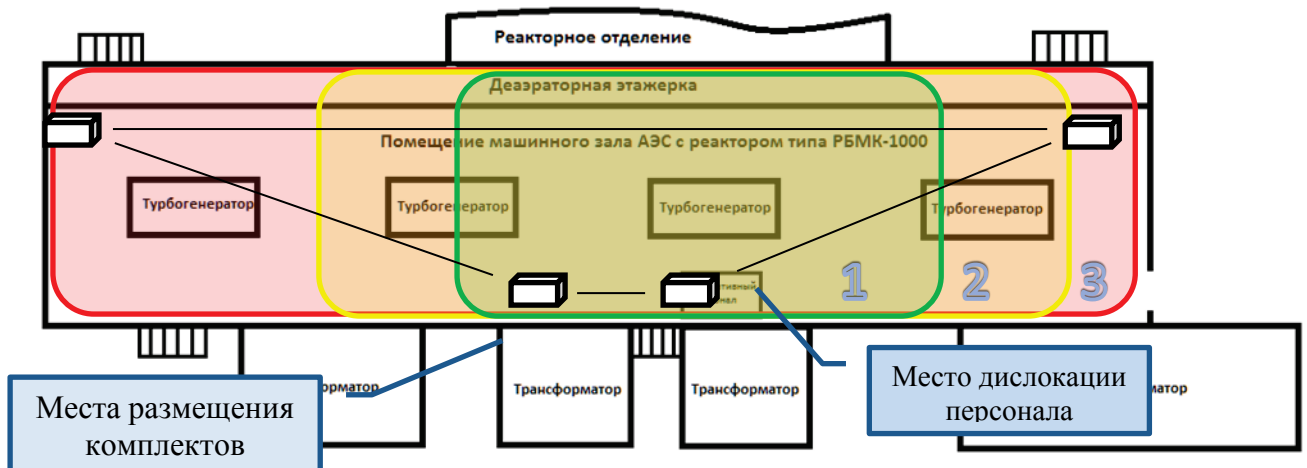


Рисунок 4.4 – Помещение машинного зала, с защитными зонами и расположением комплектов:

1 – зона возможных действий, 2 – труднодоступная зона действий, 3 – критическая зона

4.2 Проведение натурных испытаний передвижного комплекта технических средств защиты и обеспечения действий оперативным персоналом энергопредприятия

В рамках пожарно-тактического учения на крупном энергопредприятии проведена серия экспериментов по применению передвижного комплекта средств защиты с привлечением оперативного персонала.

К участию в проведении экспериментов привлекались:

- руководство энергопредприятия;
- оперативный персонал;
- пожарные подразделения по охране энергопредприятия;
- представители Академии ГПС МЧС России.

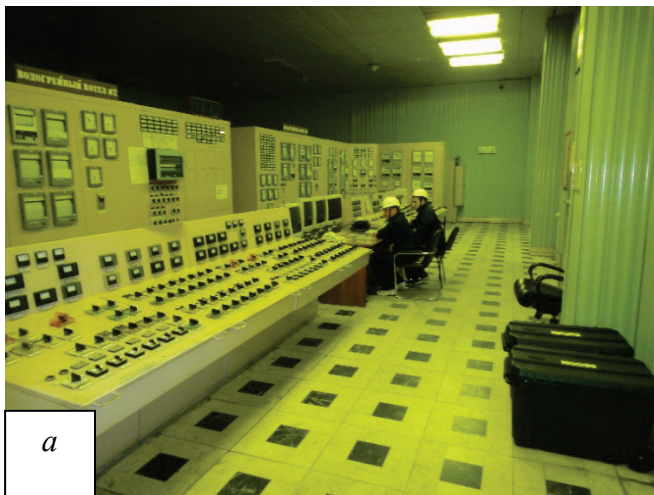
Основным замыслом мероприятия являлась отработка совместных действий должностных лиц из числа оперативного персонала и пожарных подразделений при возникновении пожаров в типовых помещениях энергопредприятия, а также возможность применения передвижных комплектов средств защиты.

Объектом исследования явился передвижной комплект технических средств защиты и обеспечения действий оперативного персонала при пожарах. Целью исследования явилось определение возможностей применения комплекта в условиях функционирования крупного энергопредприятия в реальном времени.

Для достижения поставленных целей необходимо решить ряд задач исследования, таких как:

- установить возможность применения комплекта средств защиты на объектах энергетического комплекса оперативным персоналом с учетом возрастного критерия и степени подготовки;
- оценить степень защиты человека от воздействия опасных факторов пожара при применении комплекта;
- дать оценку удобству доставки (транспортировки) необходимых средств защиты к месту возникновения пожара и работы в средствах защиты, укомплектованных в промышленный кейс на колесах.

На рисунке 4.5 представлен комплект технических средств, размещаемых в промышленном кейсе на колесах (передвижной комплект), прошедший испытания в режиме повседневной деятельности энергопредприятия.



а



б

Рисунок 4.6 – Реагирование оперативного персонала на пожар:

а – получение сигнала о пожаре оперативным персоналом на щите управления;

б – начало движения оперативного персонала к месту возникновения пожара

Прибыв к месту возникновения пожара оперативный персонал обнаружил дым, выходящий из помещения щита и принял решение провести обследование помещения. Для защиты от воздействий опасных факторов пожара оперативный персонал использовал технические средства, размещенные в промышленном кейсе на колесах (рисунок 4.7).



Рисунок 4.7 – Надевание средств защиты оперативного персонала от воздействия опасных факторов пожара

После проведения проверки исправности дыхательного аппарата со сжатым воздухом оперативный персонал произвел включение и с использованием

страховочного троса зашел в помещение электрощитовой для сбора информации о пожаре (рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 – Действия оперативного персонала при обнаружении признаков пожара:

а – подготовка оперативного персонала к проведению разведки;

б – вход оперативного персонала в непригодную для дыхания среду

Проводя обследование помещений в условиях непригодной для дыхания среды (т. е. задымленной зоне), оперативный персонал обнаружил двух пострадавших, о чем немедленно сообщил страховщику, который передал информацию прибывающим пожарным подразделениям (рисунок 4.9).

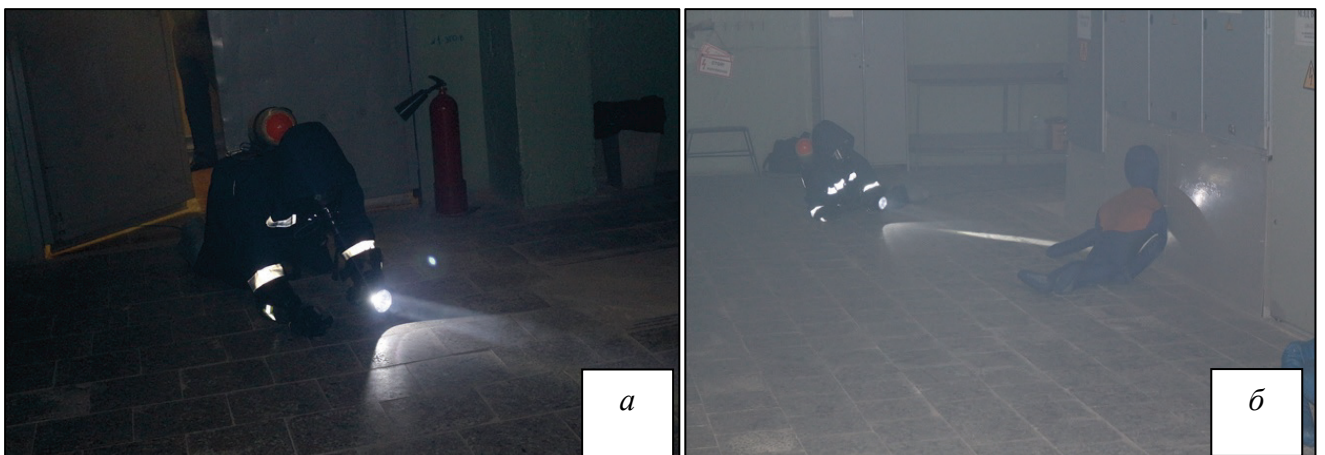


Рисунок 4.9 – Проведение разведки:

а – поиск пострадавших от пожара;

б – обнаружение пострадавшего и его спасение из непригодной для дыхания среды

Одного человека собственными силами удалось переместить в безопасную

зону, второй пострадавший остался в задымленном помещении, зажатый технологическим оборудованием.

К месту пожара прибывают пожарно-спасательные подразделения (рисунок 4.10).



Рисунок 4.10 – Прибытие к месту пожара пожарно-спасательных подразделений:

а – вход пожарных в здание энергопредприятия;

б – прибытие пожарных к месту возникновения пожара

Пожарные получают информацию от оперативного персонала о наличии в задымленном помещении пострадавшего человека, производят проверку дыхательных аппаратов, формируют звено ГДЗС и уходят в разведку, в результате которой спасают второго пострадавшего (рисунок 4.11).



Рисунок 4.11 – Действия пожарно-спасательного подразделения

по спасению пострадавшего от пожара:

а – формирование звена газодымозащитной службы;

б – спасение пострадавшего

В результате приведенной разведки обнаружено, что оборудование в помещении щита находится под напряжением и тушение пожара возможно после его снятия и заземления пожарных стволов [96].

Выводы:

1. Отмечено, что действия должностных лиц из числа оперативного персонала и пожарных проводились слаженно, порядок взаимодействия отработан в полном объеме. В процессе проведения экспериментов осуществлялся хронометраж действий оперативного персонала объекта по реагированию на пожар, проведению мероприятий по спасению пострадавших и тушению пожара. Временные показатели занесены в протокол экспериментальных исследований.

2. Применение передвижных комплектов технических средств защит и обеспечения действий оперативного персонала при пожаре позволяет организовать первичные действия при возникновении пожара с приемлемым уровнем защиты и безопасности персонала, что может обеспечить минимизацию последствий происшествия.

3. Считать целесообразным:

- использование передвижных комплектов средств защиты оперативного персонала;

- продолжить работу по разработке проводного переговорного устройства дуплексной связи для передачи информации между должностными лицами из числа оперативного персонала;

- в целях подготовки оперативного персонала к выполнению обязанностей в условиях непригодной для дыхания среды при пожарах, необходимо организовать соответствующее специальное обучение на право использования дыхательных аппаратов со сжатым воздухом;

- для поддержания навыков работы на высоком уровне, а также выработки психологической устойчивости и физиологической готовности у оперативного персонала при выполнении должностных инструкций в случаях возникновения пожаров необходимо проводить периодические практические занятия с использо-

ванием дыхательных аппаратов (тренировки) как индивидуальные, так и совместные с подразделениями пожарной охраны.

4.3 Расчет тушения очага пожара оперативным персоналом на блочном щите управления атомной электростанции первичными средствами пожаротушения

Для оценки возможностей оперативного персонала АЭС выполнить действия по тушению пожара (в начальной стадии его развития) первичными средствами пожаротушения применена методика расчета тушения пожара в очаге внутренним противопожарным водопроводом, подготовленная специалистами ВНИИПО МЧС России [76]. Разработанная методика позволяет определить надежность тушения пожара в зависимости от времени развития пожара, а также требуемый расход воды для локализации и ликвидации горения.

Для проведения расчетов принимаются следующие величины: I – показатель интенсивности тушения пожара, равный 0,10 л/(м²/с) для помещения щита управления АЭС [96]; σ_i – стандартное отклонение интенсивности, принимаем равным 0,05 л/(с м²); $T = 4$ мин (время ввода пожарного ствола от пожарного крана внутреннего противопожарного водопровода); σ_t – стандартное отклонение T – принимаем равным 0,5 мин.

Водоотдача пожарного крана зависит от его расположения, давления в гидравлической сети перед пожарным краном, типа пожарного крана и других факторов (в первую очередь от нормативного и проектного значения по водоотдаче). Параметры Q_{ϕ} (фактический расход воды на тушение пожара) определены в результате прямых испытаний на водоотдачу [97]:

для диаметра рукавов 51 мм и диаметра спрыска 13 мм:

$$Q_{\min} = 2,6 \text{ л/с}, Q_{\max} = 3,6 \text{ л/с при } P = 4 \text{ атм};$$

для диаметра рукавов 51 мм и диаметра спрыска 16 мм:

$$Q_{\min} = 3,7 \text{ л/с}, Q_{\max} = 5,1 \text{ л/с при } P = 4 \text{ атм}.$$

Математическое ожидание Q_{ϕ} и стандартное отклонение σ_q определяется по

формулам, соответственно:

при диаметре spryska 13 мм

$$Q_{\phi} = \frac{Q_{\max} + Q_{\min}}{2} = \frac{3,6 + 2,6}{2} = 3,1 \text{ л/с};$$

$$\sigma_q = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{6} = \frac{3,6 - 2,6}{6} = 0,17 \text{ л/с};$$

при диаметре spryska 16 мм

$$Q_{\phi} = \frac{Q_{\max} + Q_{\min}}{2} = \frac{5,1 + 3,7}{2} = 4,4 \text{ л/с};$$

$$\sigma_q = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{6} = \frac{5,1 - 3,7}{6} = 0,23 \text{ л/с}.$$

Линейная скорость распространения пламени при пожарах $V_{\text{л}}$ определяется по справочным данным: от 0,8 до 1,1 м/мин (минимум и максимум, соответственно) для помещения щита управления АЭС [98].

Математическое ожидание линейной скорости распространения пламени при пожаре для БЦУ АЭС определяется по формуле

$$V_{\text{л}} = \frac{V_{\max} + V_{\min}}{2} = \frac{1,1 + 0,8}{2} = 0,95 \text{ м/мин.}$$

Стандартное отклонение (σ_v) рассчитывается по формуле

$$\sigma V = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{6} = \frac{1,1 - 0,8}{6} = 0,05 \text{ м/мин.}$$

Для определения надежности тушения пожара в помещении БЦУ АЭС двумя лицами из числа оперативного персонала с использованием внутреннего противопожарного водопровода необходимо подставить полученные данные в следующие формулы методики [76], излагаемой в настоящей диссертационной работе:

$$Q_{\text{тр}} = \frac{\Pi}{4} I \tau^2 V_{\text{л}^2} = \frac{3,14}{4} 0,1 \cdot 4^2 \cdot 0,95 = 1,13 \text{ л/с};$$

и дисперсия – (погрешность расчета):

$$\begin{aligned}
\sigma_{\tau^2} &= \left(\frac{\Pi}{4} \tau^2 V_{\text{л}^2} \right)^2 \sigma I^2 + \left(\frac{\Pi}{4} I 2 \tau V_{\text{л}^2} \right)^2 \sigma \tau^2 + \left(\frac{\Pi}{4} I \tau 2 V_{\text{л}} \right)^2 \sigma V^2 = \\
&= \left(\frac{\Pi}{4} \tau^2 V_{\text{л}^2} \right)^2 \sigma I^2 + \left(\frac{\Pi}{2} I \tau V_{\text{л}^2} \right)^2 \sigma \tau^2 + \left(\frac{\Pi}{2} I \tau V_{\text{л}} \right)^2 \sigma V^2 = \\
&= \left(\frac{3,14}{4} 4^2 \cdot 0,95^2 \right)^2 0,05^2 + \left(\frac{3,14}{2} 4 \cdot 0,1 \cdot 0,95^2 \right)^2 0,5^2 + \left(\frac{3,14}{2} 0,1 \cdot 4 \cdot 0,95 \right)^2 0,05^2 = \\
&= 0,319 + 0,079 + 0,00079 = 0,4 \text{ л}^2/\text{с}^2 = 0,63 \text{ л/с}.
\end{aligned}$$

Аргумент в формуле 12 методики [76]:

$$Z = \frac{Q_{\Phi} - Q_{\text{тр}}}{\sqrt{\sigma_{\Phi^2} + \sigma_{\tau^2}}} = \frac{3,1 - 1,13}{0,95} = 2,07$$

и $\Phi(Z) = 0,979$ (справочные данные)

Оценить надежность тушения очага пожара одним стволом РС-50 с диаметром spryska 13 мм (16 мм) можно, используя формулу

$$R_{\text{н}} = K_1 K_2 \text{Вер}(Q_{\text{тр}} < Q_{\Phi}),$$

где K_1 – вероятность нахождения в помещении очага пожара людей, умеющих тушить пожар в очаге ручными пожарными стволами (для блочного щита управления АЭС принимаем равным – 1);

K_2 – вероятность нахождения внутреннего противопожарного водопровода в исправном состоянии (для блочного щита управления АЭС принимаем равным – 0,95):

$$R_{\text{н}} = K_1 K_2 \Phi \left(\frac{Q_{\Phi} - Q_{\text{тр}}}{\sqrt{\sigma_{\Phi^2} + \sigma_{\tau^2}}} \right) = 1 \cdot 0,95 \cdot 0,979 = 0,93.$$

Проведенные расчеты занесены в таблицу 4.1 (учитываются нарастания временных показателей времени начала тушения пожара в помещении блочного щита управления АЭС).

Таблица 4.1 – Оценка надежности тушения пожара ручным стволом

Время начала тушения пожара τ мин*	Требуемый расход воды на тушение пожара $Q_{\text{тр}}$, л/с	Надежность тушения пожара, $R_{\text{н}}$
<i>РС-50 (диаметр сопла 13 мм)</i>		
4	1,13	0,93
5	1,76	0,87

Окончание таблицы 4.1

Время начала тушения пожара τ мин*	Требуемый расход воды на тушение пожара $Q_{тр}$, л/с	Надежность тушения пожара, R_n
6	2,54	0,33
<i>РС-50 (диаметр сопла 16 мм)</i>		
7	3,5	0,18

*Проведенные расчеты показали минимальное время готовности оперативного персонала к тушению очага пожара, начиная с 4 мин (получение сигнала, одевание средств защиты, подготовка рабочей линии от пожарного крана).

4.4 Рекомендации по подготовке оперативного персонала к действиям при возникновении пожаров в помещениях атомной электростанции в рамках ежегодного поддержания и повышения квалификации

Проведенные в диссертационной работе исследования и эксперименты по организации защиты оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях АЭС нашли свое отражение в нормативном документе АО «Концерн Росэнергоатом» – инструкции «Организация защиты оперативного персонала атомных станций при пожарах (авариях) в условиях непригодной для дыхания среды» [99].

Анализ проведенных исследований возможности применения передвижного комплекта оборудования на крупном энергопредприятии показал, что наиболее важным фактором, влияющим на реагирование должностных лиц к месту пожара и работы в условиях воздействия опасных факторов пожара является уровень подготовки персонала. Выявлено, что уровень подготовки участников экспериментов 1, 2 (сотрудники Академии ГПС МЧС России) оказался более высоким, чем у должностных лиц из числа оперативного персонала, при этом возрастные критерии и антропометрические данные участников показали менее видимые результаты. В этой связи при осуществлении подготовки персонала из числа специалистов АЭС в рамках проведения ежегодных тренировок на базе учебных центров и учебно-тренировочных комплексов (полигонов) необходимо уделять осо-

бое внимание вопросам ведения работ в условиях воздействия на персонал опасных факторов пожара.

В целях подготовки оперативного персонала к выполнению обязанностей, связанных с использованием дыхательных аппаратов, необходимо пройти соответствующее специальное обучение на право их использования. Кроме этого, для поддержания навыков работы на высоком уровне, а также выработки психологической устойчивости и физиологической готовности у персонала АЭС целесообразно проводить периодические практические занятия с использованием ДАСВ (тренировки) [100].

Тренировки необходимо поделить на два направления (рисунок 4.12).

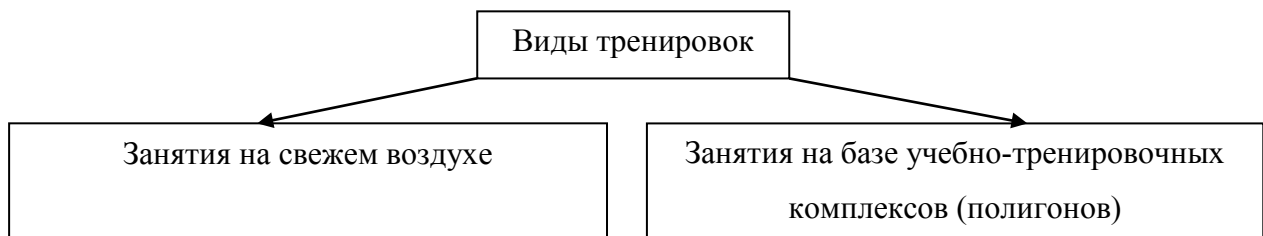


Рисунок 4.12 – Виды тренировок оперативного персонала АЭС

В целях постоянной готовности персонала АЭС к выполнению обязанностей в непригодной для дыхания среде при пожарах, рекомендуется проводить практические занятия в рамках противопожарных тренировок и ежегодной программы поддержания квалификации не менее 2-х раз в год (1 тренировка на свежем воздухе и 1 тренировка на базе учебно-тренировочного комплекса (полигон) (далее – УТК(П)). Но как показывает прогноз возможной обстановки в результате пожаров в помещениях АЭС, индивидуальных тренировок персонала АЭС в ДАСВ может быть недостаточно. Дело в том, что в случае пожара может возникнуть необходимость следования должностных лиц из числа оперативного персонала к технологическому оборудованию АЭС для выполнения ряда работ в условиях ограниченной видимости и низкой концентрации кислорода. По ряду объективных причин персонал АЭС самостоятельно сделать этого не может. В подобной ситуации возникает необходимость сопровождения должностных лиц

из числа персонала звеном газодымозащитников пожарно-спасательной части по охране АЭС до места назначения.

Вышерассмотренная ситуация требует от персонала АЭС и личного состава из числа газодымозащитников оперативно слаженных и тактически правильных действий, навыки которых можно достигнуть лишь при проведении совместных тренировок на базе УТК(П) [101].

При организации подобного рода тренировки руководителю занятия необходимо определить цели занятия и маршруты, при прохождении которых будут решаться учебно-тренировочные задачи по достижению поставленных целей. При моделировании ситуаций особое внимание следует обращать на включение в тренировку следующих элементов [102]:

- проведение эвакуации людей;
- проведение аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных работ;
- тушение пожара первичными средствами пожаротушения.

Целесообразно формировать совместное звено из расчета 3-х газодымозащитников из числа личного состава пожарно-спасательного подразделения по охране АЭС и 1 человека из числа оперативного персонала АЭС. Направляющим и замыкающим совместного звена ГДЗС должны быть газодымозащитники пожарно-спасательного подразделения по охране АЭС.

Модули и маршруты для их прохождения участниками тренировки необходимо определять руководителю тренировки исходя из тактического замысла практического занятия, его целей и учебно-тренировочных задач.

В ходе проведения тренировки руководителю занятия необходимо тщательно следить за соблюдением требований безопасности, самочувствием участников тренировки и принимать, при необходимости, экстренные меры по оказанию первой помощи.

Решение учебных задач и отработку упражнений необходимо проводить в строгой последовательности, определенной руководителем занятия, переходя от легких и простых к более трудным и сложным элементам с постепенным увеличением физических нагрузок. Маршруты следования звена при совместных

тренировках по сравнению с индивидуальной тренировкой персонала АЭС рекомендуется усложнять.

В ходе подобного рода тренировок, участники смогут отработать следующие навыки совместных действий оперативного персонала АЭС и личного состава ФПС:

- отработка звеном газодымозащитной службы (в составе с оперативным персоналом) действий по поиску и эвакуации «пострадавшего» в задымленной зоне;

- отработка звеном газодымозащитной службы действий по доставке должностного лица из числа оперативного персонала к месту аварии (или пожара) для проведения аварийно-восстановительных работ;

- отработка газодымозащитниками действий при обнаружении неисправности в дыхательном аппарате оперативного персонала АЭС.

Разработанные рекомендации по подготовке оперативного персонала к действиям при пожарах в помещениях АЭС представлены в нормативном документе АО «Концерн Росэнергоатом» – «Методические рекомендации по организации тренировок...» [103], которые сегодня используются на всех действующих атомных станциях России (рисунок 4.12)

В заключении необходимо отметить, что от качества и слаженности совместных действий оперативного персонала и личного состава пожарно-спасательных подразделений по охране АЭС зависит не только успех ликвидации возможного пожара, но и то, насколько крепко данное событие будет закреплено в мировой истории как результат деятельности человека, повлекший за собой предотвращение крупной трагедии.

Выводы по четвертой главе

В четвертой главе диссертационной работы автором настоящего исследования разработан порядок подготовки и применения передвижного комплекта тех-

нических средств оперативным персоналом на АЭС в режимах повседневного технологического процесса по выработке электрической энергии и при возникновении пожаров. Применяемые в исследованиях принципы и подходы нашли свое отражение в нормативном документе ОА «Концерн Росэнергоатом» – инструкции по организации защиты оперативного персонала АЭС при пожарах в условиях непригодной для дыхания среды.

На крупном энергопредприятии проведены натурные эксперименты по применению передвижного комплекта технических средств оперативным персоналом при реагировании на пожар. Результаты эксперимента позволили оценить уровень подготовки персонала объекта к действиям при возникновении пожаров, а также получить временные показатели действий персонала до прибытия пожарно-спасательных подразделений.

Для оценки возможностей действий персонала по тушению пожара в помещении щита управления АЭС произведен расчет тушения очага пожара первичными средствами пожаротушения. Полученные данные по расходу огнетушащих веществ и надежности тушения очага внутренним противопожарным водопроводом позволят объективно планировать действия по тушению пожаров оперативным персоналом АЭС до прибытия пожарных подразделений.

В заключительной части четвертой главы предложены рекомендации по подготовке персонала к действиям по тушению пожара в помещениях АЭС. Индивидуальные тренировки оперативного персонала, а также совместные, с газодымозащитниками пожарно-спасательного подразделения по охране АЭС, на базе учебных центров и учебно-тренировочных комплексов (или полигонах) в рамках ежегодного поддержания и повышения квалификации позволят обеспечить готовность персонала к тушению пожаров в начальной стадии его развития.

Заключение

1. На основе проведенного анализа действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций сделан вывод, что в настоящее время отсутствует единый подход к оснащению персонала техническими средствами, обеспечивающими возможность безопасного выполнения работ при возникновении пожаров. Имеющиеся технические средства и порядок их эксплуатации не обеспечат эффективные действия оперативного персонала по тушению пожаров в помещениях АЭС в начальной стадии их развития.

2. Определены времена наступления критических показателей опасных факторов пожара, воздействующих на оперативный персонал. Определено, что основным опасным фактором, при котором невозможно продолжение дальнейших действий персонала является повышенная температура. При достижении показателя температуры в помещениях АЭС свыше 70 °С (кратковременно 100 °С) оперативный персонал должен прекратить выполнение работ и покинуть помещение.

3. На основе прогноза развития опасных факторов пожара обоснован подход к выбору технических средств для защиты и обеспечения действий оперативного персонала атомных электростанций.

4. На основе проведенного расчета энергозатрат человека разработано техническое решение по хранению и доставке комплекта технических средств защиты и обеспечения действий персонала атомных электростанций к месту применения.

Использование комплекта технических средств позволит увеличить время действий оперативного персонала на щитах управления АЭС от 5 до 13–20 минут, в помещении машинного зала АЭС – от 2 до 18–27 минут.

5. Разработаны рекомендации по защите оперативного персонала от воздействия опасных факторов пожара и его подготовке к действиям при пожаре, которые нашли свое отражение в нормативных документах ОА «Концерн Росэнергоатом», реализуемых на всех действующих атомных станциях России.

Список литературы

1. Безопасность [Электронный ресурс] // Концерн «Росэнергоатом» [сайт]. Режим доступа: www.rosenergoatom.ru/safety_environment/obespechenie-bezopasnosti/ (дата обращения 13.01.2018).
2. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года: ФГБУН «Институт энергетических исследований Российской академии наук», ФГБУ «Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации» [Текст]. – М.: ИНЭИ РАН, АЦ, 2014. – 108 с.
3. Харевский В.А., Богданов А.Е., Ищенко А.Д., Фогилев И.С. Разработка комплекса средств защиты оперативного персонала атомных электростанций при пожаре [Текст] // Пожары и чрезвычайные ситуации, предотвращение, ликвидация. – 2015. – № 4. – С. 13–18.
4. Решение АЭСР–767К (5,2) – 2014 от 24.11.2014 г. по результатам учебно-методического сбора с начальниками объектовых подразделений ФПС ГПС по охране АЭС и начальниками отделов пожарной безопасности филиалов АО «Концерн Росэнергоатом» – действующих АЭС в г. Заречный Свердловской области [Текст]. – М.: Концерн «Росэнергоатом», 2014. – Неопубл. документ.
5. Данные Международного агентства по атомной энергии (ИАЕА) [Электронный ресурс] // ИАЕА [сайт]. Режим доступа: <http://www.iaea.org> (дата обращения 30.12.2017).
6. В здании АБК Смоленской АЭС успешно прошла плановая противопожарная тренировка [Электронный ресурс] // Администрация муниципального образования «Город Десногорск» Смоленской области [сайт]. Режим доступа: desnogorsk.admin-smolensk.ru/upravlenie-goichs/pozharnaya-ohrana/novosti-476/v-zdanii-abk-smolenskoj-aes-uspeshno-proshla-planovaya-protivopozharnaya-trenirovka-2/ 2015 (дата обращения 30.11.2016).
7. Evolution of Fire Hazard Analyses for Nuclear Power Plants, Safety Series [Текст]. International atomic energy, no. 50-P-9, IAEA. Vienna, 1995, 42 p.

8. Опыт аварий и инцидентов на АЭС [Электронный ресурс] // Зеленая энергия – популярно об экологии, химии, технологиях [сайт]. Режим доступа: <http://b-energy.ru/biblioteka/bezopasnost-aes-ekologiya/350-opyt-avarii-i-incidentov-na-aes.html> (дата обращения 12.01.2018).

9. Авария на АЭС «Enrico Fermi» (США), связанная с плавлением топлива [Электронный ресурс] // Радиационная безопасность населения Российской Федерации [сайт]. Режим доступа: http://rb.mchs.gov.ru/mchs/radiation_accidents/m_other_accidents/1966_god/Avarija_na_AJES_Enrico_Fermi_SS_NA_svjaza (дата обращения 15.01.2018).

10. Аварии на АЭС: когда ядерная энергетика становится опасной, [Электронный ресурс] // Атомная энергия [сайт]. Режим доступа: <http://www.atomic-energy.ru> (дата обращения 17.01.2018).

11. Карпов В. Служба и пожаротушение. Пролог [Текст] // Пожарное дело. – 1990. – № 5. – С. 29–32

12. Иванов В.Е. Предновогодняя ночь в Заречном [Текст] // МЧС России глазами сотрудников. – 2007. – Вып. 2. – С. 60–64.

13. Армянская АЭС [Электронный ресурс] // Seogan.ru [сайт]. Режим доступа: <https://www.seogan.ru/armyanskaya-aes.html> (дата обращения 12.01.2018).

14. Статистика аварий [Электронный ресурс] // Greenpeace [сайт]. Режим доступа: <http://www.greenpeace.org/russia/ru/campaigns/nuclear/accidents/statistics/> (дата обращения 19.01.2018).

15. Авария на Чернобыльской АЭС [Электронный ресурс] // Wikipedia [сайт]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения 19.01.2018).

16. Катастрофы на АЭС в Испании [Электронный ресурс] // Что такое атомная электростанция? [сайт]. Режим доступа: <https://sites.google.com/site/adernyekatastrofy/istoria-sozdania-aes/katastrofy-na-aes-v-ispanii> (дата обращения 20.01.2018).

17. Статистические данные ООО НПО «ДИАР» об авариях и происшествиях на атомных объектах [Электронный ресурс] // Портал о

бухгалтерии в России [сайт]. Режим доступа: <http://i-risk.ru/> (дата обращения 10.11.2016).

18. Защита от внутренних пожаров и взрывов при проектировании атомных электростанций. Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № NS-G-1.7 [Текст]. – Вена: Международное агентство по атомной энергии, 2008. – 72 с.

19. External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants, Safety Standards Series [Текст]. International atomic energy, no. NS-G-1,5, IAEA, Vienna, 2003, 105 p.

20. Preparation of Fire Hazard Analyses for Nuclear Power Plants, Safety Report Series [Текст]. International atomic energy, no. 8, IAEA, Vienna, 1998, 64 p.

21. Доклад начальника отдела пожарной безопасности в ходе рабочего совещания ОАО «Концерн Росэнергоатом» 7–9 октября 2015 года на тему «Проблемные вопросы обеспечения и повышения пожарной безопасности на действующих и строящихся АЭС» [Текст]. – Московская область, Наро-Фоминский район, пансионат «Бекасово», 2015. – Неопубл. документ.

22. Treatment of Internal Fires in Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants, Safety Report Series. International atomic energy, no. 10, IAEA, Vienna, 1998, 78 p.

23. Приказ МЧС России от 11 августа 2015 № 424 «Об утверждении Порядка организации деятельности объектовых и специальных подразделений федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы».

24. Федеральный закон от 21 декабря 1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» (ст. 34 V главы) [Электронный ресурс] // Консультант-Плюс [сайт]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/ (дата обращения 10.11.2016).

25. Пуцев Д. И. Пожарная безопасность атомных станций: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.26.03 [Текст] / Пуцев Дмитрий Игоревич. – М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2011. – 47 с.

26. РД ЭО 0348–02. Основные правила обеспечения эксплуатации атомных станций [Текст]. – 3-е изд., изм. и доп. – М.: Научно-технический центр по аварийно-техническим работам на АЭС (НТЦ АТР), концерн «Росэнергоатом», 2002. – 253 с.

27. Пожарная безопасность при эксплуатации атомных электростанций [Текст]. Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № NS-G2.1. – Вена: Международное агентство по атомной энергии, 2004. – 44 с.

28. ГОСТ Р 53255–2009. Техника пожарная. Аппараты дыхательные со сжатым воздухом с открытым циклом дыхания. Общие технические требования. Методы испытаний [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2009. – 43 с.

29. Инструкция по организации обеспечения и эксплуатации средств индивидуальной защиты персонала атомных станций при пожаре. Техническая документация [Текст]. – М.: Концерн Росэнергоатом, 2009. – Неопубл. документ.

30. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [Электронный ресурс]: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404: (зарегистрировано в Минюсте РФ 06.08.2009 № 14486): (в ред. от 12.12.2011) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2014. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 22.07.2015).

31. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Электронный ресурс]: приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382: (зарегистрировано в Минюсте РФ 06.08.2009 № 14486): (в ред. от 12.12.2011) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2014. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 13.04.2015).

32. СП 160.1325800.2014. Здания и комплексы многофункциональные. Правила проектирования [Электронный ресурс]: свод правил (утв. приказом МЧС России от 07.08.2014 № 440/пр): (в ред. от 01.09.2014) // Гарант: информ.-правовое

обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2014. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 01.07.2015).

33. Пузач С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности [Текст] / С. В. Пузач. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.

34. Рыжов А. М. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: методические рекомендации [Текст] / А.М. Рыжов, И.Р. Хасанов, А.В. Карпов, А.В. Волков, В.В. Лицкевич, А.А. Дектерев. – М.: ВНИИПО, 2003. – 35 с.

35. McGrattan K. Fire Dynamics Simulator (Version 6) [Текст] / K. McGrattan, B. Klein, S. Hostikka, J. Floyd. National Institute of Standards and Technology, 2013, special publication 1018. 149 p.

36. Spalding D.B. Older and newer approaches to the numerical modelling of turbulent combustion [Текст] / D.B. Spalding // 3-rd International Conference on Computers in Reciprocating Engines and Gas Turbines. London: IMochE, 1996, pp. 25–37.

37. Welch S. SOFIE: Simulation of Fires in Enclosures [Текст] / S. Welch, P. Rubini. User Guide. United Kingdom: Cranfield University, 1996. – 340 p.

38. Пузач С.В. Полевая модель расчета тепломассообмена при пожаре [Текст] / С.В. Пузач – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – 84 с.

39. Пузач С. В. Интегральные, зонные и полевые методы расчета динамики опасных факторов пожара [Текст]. Свидетельство об официальной регистрации программы № 2006614238 в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам от 08.12.2006.

40. Пузач С. В. Определение огнестойкости строительных конструкций с учетом параметров реального пожара [Текст]. Свидетельство об официальной регистрации программы № 2006614237 в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам от 08.12.2006.

41. McGrattan K. Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide. Volume 3: Validation [Текст] / K. McGrattan, S. Hostikka, J. Floyd, H. Baum,

R. Rehm. National Institute of Standards and Technology, 2007, special publication 1018-5. 100 p.

42. McGrattan K. Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide. Volume 2: Verification [Текст] / К. McGrattan, S. Hostikka, J. Floyd, H. Baum, R. Rehm. National Institute of Standards and Technology, special publication 1018-5, 2007. 86 p.

43. McGrattan K. NIST Special Publication 1018. Sixth Edition. Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Volume 1: Mathematical Model [Текст] / К. McGrattan, S. Hostikka, R. McDermott, J. Floyd, C. Weinschenk, K. Overholt. NIST, 2013. 173 p.

44. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учебное пособие [Текст]. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000, 118 с.

45. Tanaka H., Takaoka S. Lighting effects in smoke tunnel fire [Текст]. Quart. Repts. Railway Technical Research Institute, 1974, vol. 15, no. 2, p. 83.

46. Определение пределов видимости в задымленной шахтной атмосфере [Текст] / Дендюк М.В., Далькевич В.М., Зикун Г.А., Петров П.П. // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. ВНИИ горнодобывающей промышленности. – Донецк, 1973. – С. 62–66.

47. Jin T. Visibility through fire smoke [Текст]. Fire and Flammability, 1978, vol. 9, no. 2, pp. 135–143.

48. Malhotra M.L. Movement of smoke on escape routes, instrumentation and effect of smoke on visibility [Электронный ресурс]. Fire Research Note, no. 651, 652, 653, 1967. Режим доступа: http://iafss.org/publications/frn/651/-1/view/frn_651.pdf (дата обращения 11.11.2016).

49. Rasbash D.J. Efficiency of hard lamp in smoke [Текст]. The Institution of Fire Engineers Quarterly, 1951, vol. 11, pp. 46–59.

50. Mecuire J.H., Tamura G.T. Wilson A.G. Smoke movement in high-rise buildings [Электронный ресурс]. Ottawa, National Research Council of Canada, 1971.

Режим доступа: <http://nparc.nrc-cnrc.gc.ca/eng/view/accepted/?id=af1afd4c-f8d6-4daf-8d2b-0aea9bf0089e> (дата обращения 30.11.2016).

51. Wakamatsu T. Calculation of smoke movement in buildings: Second Report [Текст]. Japan Building Research Institute; March 1971, Research Paper no. 46, pp. 501–518.

52. Visibility in the fire smoke [Текст]. Journal of the illuminating engineering institute of Japan, 1975, vol. 59, no. 2, pp. 76–82.

53. Батчер Е., Парнэлл А. Опасность дыма и дымозащита [Текст]. – М.: Стройиздат, 1983 – 153 с.

54. T. Jin. Visibility through fire smoke (IV) [Текст]. Bulletin of Japan Association for Fire Science and Engineering, 1973, vol. 23, no. 1 (2), p. 1–8. DOI.org/10.11196/kasai.23.1_2_1.

55. Florschuts P. Beitrag zur Bewentung der Jefahren durch Rauch [Текст]. Nehorlav polymer mater. Bratislava, 1980, 2, S. 87–103.

56. Wood P.G. Behaviour of people in fires [Текст]. Fire, 1973, vol. 65, no. 814. 114 p.

57. Jin Tadahisa. Studies of emotional instability in smoke from fires [Текст]. Fire and Flammability, 1981, vol. 12, no. 2, pp. 130–142.

58. Зотов Ю.С. Процесс задымления помещений при пожаре и разработка метода расчета необходимого времени эвакуации людей [Текст]: дис. ...канд. тех. наук: 05.26.03 / Зотов Юрий Сергеевич. – М.: Высшая инженерная пожарно-техническая школа, 1989. – 150 с.

59. Химический энциклопедический словарь [Текст] / гл. ред. И.Л. Кнунянц. – М.: Сов. энциклопедия, 1983. – 791 с

60. Краткая химическая энциклопедия [Текст]. В 5 т. Т. 5: Т – Я/ ред. коллегия И.Л. Кнунянц (глав. ред.). – М.: Советская энциклопедия, 1967. – 1184 с.

61. Развитие пожаров в машинных залах [Электронный ресурс] // Хелпикс.Орг [сайт]. Режим доступа: <http://helpiks.org/4-3142.html> (дата обращения 02.02.2018).

62. Из-за пожара на Василеостровский ТЭЦ электричество отключать не пришлось [Электронный ресурс] // Комсомольская правда. Новосибирск [сайт]. Режим доступа: <https://www.nsk.kp.ru/daily/26467.5/3337752/> (дата обращения 05.02.2018).

63. СССР ГОСТ 9972–74 (СТ СЭВ 2880–81). Масла нефтяные турбинные с присадками. Технические условия [Текст] (утв. постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 7 января 1974 г. № 16). – М.: Издательство стандартов, 1974. – 9 с.

64. ТИ 1.1.8.01.1017–2015. Типовая инструкция по тушению пожаров на электроустановках под напряжением до 10 кВ [Текст]. Введ. 02.12.2015. – М.: Концерн «Росэнергоатом», 2015. – 60 с.

65. Международный стандарт EN 137:2006. Защитные дыхательные устройства. Автономный дыхательный аппарат открытого цикла со сжатым воздухом с полнолицевой лицевой частью. Требования, испытания, маркировка [Электронный ресурс] // Swedish Standards Institute [сайт]. Режим доступа: <https://www.sis.se/api/document/preview/46955/> (дата обращения 05.02.2018).

66. Руководство по эксплуатации дыхательного аппарата «ОМЕГА-С» 9В2.930.399РЭ, завод КАМПО [Текст]. – Неопубл. документ.

67. ТР ТС 019/2011. О безопасности средств индивидуальной защиты [Электронный ресурс] (утв. решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 878) // Единый реестр сертификатов соответствия [сайт] Режим доступа: [http://webportalsrv.gost.ru/portal/GostNews.nsf/acaf7051ec840948c22571290059c78f/9fe752e7e38cc18e44257bde0024e7d4/\\$FILE/TR_TS_019-2011_text.pdf](http://webportalsrv.gost.ru/portal/GostNews.nsf/acaf7051ec840948c22571290059c78f/9fe752e7e38cc18e44257bde0024e7d4/$FILE/TR_TS_019-2011_text.pdf) (дата обращения 15.12.2016).

68. ГОСТ Р 53264–2009. Техника пожарная. Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2009. – 38 с.

69. Специальная огнезащитная накидка «ШАНС», ТУ 8027-009-09911217-2016 [Электронный ресурс] // НПК «Пожхимзащита»: инновации для спасения

[сайт] Режим доступа: http://www.npk-phz.ru/catalog/shans/fire_in_house/nakidka-shans/ (дата обращения 15.12.2016).

70. Марийчук И.Ф., Папазова О.В., Онасенко А.А., Гаврилко А.А. Энергозатраты членов аварийно-спасательных подразделений [Текст] // Горное дело. – 2011. – № 48. – С. 172–181.

71. Диденко Н.С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ [Текст]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. – 160 с.

72. ГОСТ 12.1.005–88. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [Текст] (утв. и введен в действие Постановлением Госстандарта СССР от 29.09.1988 № 3388), (ред. от 20.06.2000). – М.: Стандартиформ, 1988. – 95 с.

73. Методические рекомендации по организации и проведению занятий с личным составом газодымозащитной службы федеральной противопожарной службы МЧС России от 30 июня 2008 (введены в действие письмом Главного эксперта МЧС России П.В. Плата от 02.07.2008 №2-4-60-14-18) [Электронный ресурс] // Пожарка.ру: сайт для пожарных [сайт] Режим доступа: <http://pozarka.ru/metodicheskie-rekomendacii-po-organizacii-i-provedeniyu-zanyatij-gdzs/> (дата обращения 15.12.2016).

74. Фогилев И.С., Ищенко А.Д. Моделирование действий оперативного персонала атомной электростанции в условиях развития опасных факторов пожара [Текст] // Пожары и чрезвычайные ситуации, предотвращение, ликвидация. – 2018. – № 1. – С. 20–27. DOI: 10.25257/FE.2018.1.20-27.

75. Фогилев И.С., Ищенко А.Д., Соковнин А.И., Шурыгин М.А. Защита оперативного персонала энергопредприятий от воздействия опасных факторов пожара [Электронный ресурс] // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2016 – Вып. 5 (69). – Режим доступа: <http://academygps.ucoz.ru/ttb/2016-5/2016-5.html> (дата обращения 15.12.2016).

76. Присадков В.И., Муслакова С.В., Хатунцева С.Ю., Костерин И.В., Фадеев В.Е., Шамаев А. М. Расчетные оценки эффективности тушения пожара

в очаге внутренним противопожарным водопроводом [Текст] // Пожарная безопасность. – М.: ВНИИПО, 2017. – № 1. – С. 49–53.

77. Фогилев И.С. Подготовка оперативного персонала к действиям по предупреждению и ликвидации аварий (пожаров) на АЭС [Текст] / А.Д. Ищенко // Материалы международной научной конференции «Чернобыль: 30 лет спустя» – Республика Беларусь, 2016. – С. 24–54.

78. ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. (утв. постановлением Госстандарта СССР от 14 июня 1991 г. № 875) [Текст]. – М.: Стандартинформ, 1991. – 126 с.

79. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. учебник для вузов [Текст]. – 5-е изд., сте-р. – М.: Высшая школа, 1998. – 576 с.

80. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление [Текст]. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.

81. Жолен Л., Кифер М., Дидри О., Вальтер Э. Прикладной интервальный анализ [Текст]. – М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. – 468 с.

82. Таранцев А.А. Случайные величины и работа с ними: учебно-методическое пособие [Текст]. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Петрополис, 2011. – 160 с.

83. Борисов В.В., Федулов А.С., Зернов М.М. Основы нечеткой арифметики: учебное пособие для вузов [Текст]. – М.: Горячая линия-Телеком, 2014 – 98 с.

84. Ищенко А.Д., Фогилев И.С. Обеспечение действий оперативного персонала атомных электростанций в условиях непригодной для дыхания среды при пожарах [Электронный ресурс] // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 2 (60). Режим доступа: <http://academygps.ucoz.ru/ttb/2015-2/2015-2.html> (дата обращения 08.03.2016)

85. Таранцев А.А. О связи интервального анализа с теорией вероятностей [Текст] // Заводская лаборатория. – 2004. – Т. 70, № 3. – С. 60–65.

86. Бронштейн Н.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов [Текст]. – 13-е изд., испр. – М.: Наука, 1986. – 544 с.

87. Таранцев А.А., Нодь А.П., Таранцев А.А. О суммировании случайных величин (на примере оценки движения мобильных объектов) [Текст] // Проблемы безопасности и ЧС. – 2015. – № 4. – С. 112–120.

88. Ищенко А.Д., Фогилев И.С. Применение интервального анализа к оценке временных характеристик действий оперативного персонала атомных электростанций [Электронный ресурс] // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 6. Режим доступа: <http://academygps.ru/1312/> (дата обращения 07.08.2017).

89. Динамометр растяжения-сжатия «DACELL» FGA-T2. Техническая документация фирмы «Dacell CO, LTD», Корея. Внесены в Государственный реестр средств измерений. Регистрационный № 37874-08 [Электронный ресурс] // NDT-TD: Неразрушающий контроль и техническая диагностика [сайт]. Режим доступа: <http://www.ndt-td.ru/katalog/vesovoe-oborudovanie/dinamometri/dinamometr-dn-fga.html> (дата обращения 10.10.2016).

90. Фогилев И.С. Обеспечение действий оперативного персонала АЭС при пожаре в начальной стадии его развития [Текст] // Сборник трудов XVII школы молодых ученых ИБРАЭ РАН, проходившей 16–17 ноября 2017 г. / под общ. ред. акад. РАН Л.А. Большова; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук. – М.: ИБРАЭ РАН, 2017. – 158 с.

91. Фогилев И.С. Комплекс действий оперативного персонала атомных электростанций в начальной стадии пожара [Текст] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидации. – 2016. – № 4. – С. 22–28. DOI: 10.25257/FE.2016.4.22-28.

92. Ищенко А.Д. Нормативно-правовая основа жизнеобеспечения человека при пожаре [Электронный ресурс] // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – Вып. 6 (64). – Режим доступа: <http://academygps.ucoz.ru/ttb/2015-6/2015-6.html> (дата обращения 08.08.2015).

93. Соковнин А.И. Условия видимости для пожарных в задымленной зоне при тушении пожаров на объектах энергетики [Электронный ресурс] / А.И. Соковнин, А.Д. Ищенко, В.Д. Федяев // Технологии техносферной

безопасности. – 2016. № 3(67). Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-3/26-03-16.ttb.pdf> (дата обращения 04.04.2016).

94. Пузач С.В., Лебедченко О.С., Ищенко А. Д., Фогилев И.С. Временной механизм воздействия опасных факторов пожара на персонал АЭС и комплексная защита от них [Текст] // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26, № 8. – С. 15–22. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.15-24.

95. Приказ Минтруда России от 23 декабря 2014 № 1100н «Об утверждении правил по охране труда в подразделениях федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы» [Электронный ресурс] // Гарант.ру: информационно-правовой портал [сайт]. Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70918304/> (дата обращения 13.11.2015).

96. Терещев В.В., Подгрушный А.В. Пожарная тактика. Основы тушения пожаров: учебник [Текст]. – Екатеринбург: Калан, 2008. – 512 с.

97. СП 10.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный водопровод. Требования пожарной безопасности [Текст]. – М.: Стандартинформа, 2009. – 13 с.

98. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара [Текст]. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.

99. И1.3.2.15. 1111–2016. Организация защиты оперативного персонала атомных станций при пожарах (авариях) в условиях непригодной для дыхания среды» Техническая документация [Электронный ресурс] // Концерн «Росэнергоатом» [сайт]. Режим доступа: www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/32e/32edb300ba8140feabd055266d21c265.pdf (дата обращения 16.04.2016).

100. Фогилев И.С. Организация тренировок оперативного персонала атомных электростанций в дыхательных аппаратах со сжатым воздухом [Текст] / А.Д. Ищенко, М.А. Шурыгин // Материалы V международной научно-практической конференция молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2016». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 48–52.

101. Фогилев И.С. Особенности проведения тренировок оперативного персонала атомных электростанций в дыхательных аппаратах со сжатым воздухом [Текст] / М.А. Шурыгин // Материалы V международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 122–222.

102. Ищенко А.Д. Проблемы обеспечения тушения пожаров на объектах энергетики оперативными подразделениями пожарной охраны [Текст] // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – № 5 (28). – С. 26–36.

103. О введении в действие методических рекомендаций по организации тренировок личного состава объектовых подразделений ФПС по охране АЭС и оперативного персонала АЭС, в том числе совместных, на базе огневых учебно-тренировочных комплексов (полигонов), эксплуатируемых на АЭС» МР 1.3.2.09.1026–2015 (от 05.10.2015 № 9/1103-П). – М.: Росэнергоатом, 2015.– Неопубл. документ.

104. Фотографии И. Варламова [Электронный ресурс] // Livejournal [сайт]. Режим доступа: <https://varlamov.ru/107500.html> (дата обращения 20.12.2017).

Приложение А

**ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА
АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПРИ ПОЖАРАХ (АВАРИЯХ)
В УСЛОВИЯХ НЕПРИГОДНОЙ ДЛЯ ДЫХАНИЯ СРЕДЫ
ИНСТРУКЦИЯ
И 1.3.2.15.1111–2016**

Приложение к приказу
АО «Концери Росэнергоатом»
от 08.04.2016 № 9/530-17



Акционерное общество
«Российский концерн по производству электрической
и тепловой энергии на атомных станциях»

(АО «Концери Росэнергоатом»)

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель Генерального
директора – директор по
производству и эксплуатации АЭС

А.Г. Жуков
«____» _____ 2016 г

**ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА АТОМНЫХ
СТАНЦИЙ ПРИ ПОЖАРАХ (АВАРИЯХ) В УСЛОВИЯХ НЕПРИГОДНОЙ
ДЛЯ ДЫХАНИЯ СРЕДЫ
ИНСТРУКЦИЯ**

И 1.3.2.15.1111 - 2016

Приложение Б

**ОРГАНИЗАЦИЯ ТРЕНИРОВОК ЛИЧНОГО СОСТАВА ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ
ФПС ПО ОХРАНЕ АЭС И ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА АЭС,
В ТОМ ЧИСЛЕ СОВМЕСТНЫХ, НА БАЗЕ ОГНЕВЫХ
УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ (ПОЛИГОНОВ),
ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НА АЭС
МР 1.3.2.09.1026–2015**



Приложение к приказу
ОАО «Концерн Росэнергоатом»
от 05.10.2015 № 9/1023-17

Открытое акционерное общество
«Российский концерн по производству электрической
и тепловой энергии на атомных станциях»

(ОАО «Концерн Росэнергоатом»)

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель Генерального
директора – директор по
производству и эксплуатации АЭС

 А.Г. Жуков
«» 2015

**ОРГАНИЗАЦИЯ ТРЕНИРОВОК
ЛИЧНОГО СОСТАВА ОБЪЕКТОВЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ФПС
ПО ОХРАНЕ АЭС И ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА АЭС,
В ТОМ ЧИСЛЕ СОВМЕСТНЫХ, НА БАЗЕ ОГНЕВЫХ УЧЕБНО-
ТРЕНИРОВОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ (ПОЛИГОНОВ),
ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НА АЭС**

Методические рекомендации

МР 1.3.2.09.1026-2015

Приложение В
(обязательное)

АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ

УТВЕРЖДАЮ
 Главный инженер Смоленской АЭС
 А.Ю. Лешенко
 2017 г.



внедрения результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук, заместителя начальника института развития Академии ГПС МЧС России подполковника внутренней службы Фогилева Ивана Сергеевича на тему: «Обеспечение действий оперативного персонала атомных электростанций при возникновении пожара» в процесс подготовки оперативного персонала Смоленской АЭС к действиям при пожаре

Комиссия в составе:

Первого заместителя Главного инженера станции Скирды Вадима Юрьевича, заместителя главного инженера – начальника учебно-тренировочного подразделения Савиных Бориса Геннадьевича, начальника отдела пожарной Шведова Владимира Владимировича подтверждает, что результаты диссертационного исследования Фогилева Ивана Сергеевича используются в процессе подготовки оперативного персонала Смоленской АЭС к действиям при возникновении пожара, а передвижной комплект технических средств для обеспечения работ оперативного персонала АЭС при пожаре проходит опытную эксплуатацию.

Комиссия:

Первый заместитель Главного
 инженера станции
 Заместитель главного инженера –
 начальник учебно-тренировочного
 подразделения
 Начальник отдела пожарной
 безопасности

 В.Ю. Скирда
 Б.Г. Савиных
 В.В. Шведов

УТВЕРЖДАЮ

Начальник института развития
Академии ГПС МЧС России
полковник внутренней службы
кандидат военных наук



О.Н. Никодимов

20 17 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук, заместителя начальника института развития Академии ГПС МЧС России подполковника внутренней службы Фогилева Ивана Сергеевича на тему: «Обеспечение действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций» в учебном процессе института развития по реализации дополнительных профессиональных программ

Комиссия в составе: старшего преподавателя-методиста института развития Академии ГПС МЧС России Плешаковой Марины Николаевны, преподавателя-методиста института развития Балалаева Максима Николаевича подтверждает, что результаты диссертационного исследования Фогилева Ивана Сергеевича внедрены в учебный процесс института развития при разработке дополнительной профессиональной программы повышения квалификации «Подготовка персонала критически важных объектов к действиям при возникновении пожаров» и в ходе проведения учебных занятий со специалистами ПАО «Кубаньэнерго» по теме «Обязанности и действия руководителей предприятий и инженерно-технических работников в случае возникновения аварий и пожаров».

Комиссия:

Старший преподаватель-методист
института развития
майор внутренней службы

М.Н. Плешакова

Преподаватель-методист института развития
майор внутренней службы

М.Н. Балалаев

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Академии
ГПС МЧС России по учебной работе
полковник внутренней службы,
кандидат военных наук

М.В. Бедило

2016 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук, заместителя начальника института развития Академии ГПС МЧС России подполковника внутренней службы Фогилева Ивана Сергеевича на тему: «Обеспечение действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций» в учебном процессе Академии ГПС МЧС России

Комиссия в составе: Заместителя начальника УНК пожаротушения - начальника кафедры пожарной тактики и службы полковника внутренней службы Шкунова Сергея Александровича, доцента кафедры пожарной тактики и службы (в составе УНК пожаротушения) полковника внутренней службы, к.т.н. Григорьева Алексея Николаевича, доцента кафедры пожарной тактики и службы (в составе УНК пожаротушения), к.т.н. Тарасова Сергея Владимировича подтверждает, что результаты диссертационного исследования Фогилева Ивана Сергеевича внедрены в учебный процесс кафедры пожарной тактики и службы (в составе УНК пожаротушения) при подготовке фондовых лекций по дисциплине «Пожарная тактика» на тему: «Тушение пожаров на объектах энергетики».

Комиссия:

Начальник кафедры ПТиС (в составе УНК пожаротушения)
полковник внутренней службы

С.А. Шкунов

Доцент кафедры ПТиС (в составе УНК пожаротушения)
полковник внутренней службы, к.т.н.

А.Н. Григорьев

Доцент кафедры ПТиС (в составе УНК пожаротушения)
к.т.н.

С.В. Тарасов

УТВЕРЖДАЮ

Директор Технологического филиала
АО «Концерн Росэнергоатом»

С.А. Карпутов

2018 г.



внедрения результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук, заместителя начальника института развития Академии ГПС МЧС России подполковника внутренней службы
Фогилева Ивана Сергеевича на тему: «Обеспечение действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций» в локальные нормативные документы по защите оперативного персонала и его подготовки к действиям при возникновении пожаров на АЭС

Комиссия в составе: заместителя директора по производственным вопросам – руководителя Службы пожарной безопасности АО «Концерн Росэнергоатом» Никифорова В.В., начальника отдела пожарной безопасности по действующим АЭС Службы пожарной безопасности АО «Концерн Росэнергоатом» Харевского В.А., главного специалиста – инспектора отдела пожарной безопасности по действующим АЭС Службы пожарной безопасности АО «Концерн Росэнергоатом» Богданова А.Е. подтверждает, что результаты диссертационного исследования Фогилева Ивана Сергеевича использованы при разработке локальных нормативных документов АО «Концерн Росэнергоатом»;

– МР 1.3.2.09.1026-2015 «Организация тренировок личного состава объектовых подразделений ФПС по охране АЭС и оперативного персонала АЭС, в том числе совместных на базе огневых учебно-тренировочных комплексов (полигонов), эксплуатируемых на АЭС. Методические рекомендации» (введены приказом АО «Концерн Росэнергоатом» от 05.10.2015 № 9/1103-П);

– И 1.3.2.15.1111-2016 «Организация защиты оперативного персонала атомных станций при пожарах (авариях) в условиях непригодной для дыхания среды. Инструкция» (введена приказом АО «Концерн Росэнергоатом» от 08.04.2016 № 9/430-П).

Комиссия:

Заместитель директора по производственным вопросам – руководитель Службы пожарной безопасности АО «Концерн Росэнергоатом»
Начальник отдела пожарной безопасности по действующим АЭС Службы пожарной безопасности АО «Концерн Росэнергоатом»
Главный специалист – инспектор отдела пожарной безопасности по действующим АЭС Службы пожарной безопасности АО «Концерн Росэнергоатом»

В.В. Никифоров

В.А. Харевский

А.Е. Богданов