

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
(технические науки, отрасль энергетика)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2018

Работа выполнена на кафедре пожарно-строевой и газодымозащитной подготовки (в составе учебно-научного комплекса пожаротушения) Академии Государственной противопожарной службы МЧС России.

Научный руководитель: Ищенко Андрей Дмитриевич,
кандидат технических наук

Официальные оппоненты: Сегаль Михаил Давыдович,
доктор технических наук,
старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник Института проблем
безопасного развития атомной энергетики РАН

Логинов Владимир Иванович,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник научно-
исследовательского центра пожарно-спасательной
и робототехники ФГБУ ВНИИПО МЧС России

Ведущая организация: АО «Концерн Росэнергоатом»

Защита диссертации состоится «21» июня 2018 года в 14 часов на заседании диссертационного совета ДС 205.002.02 в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России и на сайте:

<http://academygps.ru/upload/iblock/408/40810da34490f67ccf34265f16cfe8c7.pdf>

Автореферат разослан «27» апреля 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Сивенков Андрей Борисович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Все действующие АЭС России входят в перечень критически важных и потенциально опасных объектов, которые размещаются в непосредственной близости от городов-спутников. Возникновение пожаров в помещениях АЭС – явление нечастое, однако их последствия, как правило, катастрофичны, а ущерб для населения и территорий государства – колоссальный. 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.

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». 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 усиленному 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 разработки 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 без опасности атомной энергетики, является Международное агентство по атомной энергии (далее – МАГАТЭ, англ. International Atomic Energy Agency, IAEA). 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 посильному 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 оперативного 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 диссертации реализованы при:

– разработке нормативного документа АО «Концерн Росэнергоатом» – МР 1.3.2.09.1026–2015 «Организация тренировок личного состава объектов 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 работы 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.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации и степень ее разработки, определены объект и предмет исследования, сформулированы цель, и задачи диссертационной работы, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость, представлены методология и методы исследования, приведены положения, выносимые на защиту, а также степень достоверности и апробация полученных результатов.

В первой главе диссертации «Анализ действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций» проведен анализ пожаров, произошедших на атомных станциях в России и за рубежом. Результаты анализа показали, что наиболее часто пожары возникают в помещениях щитов управления, машинных залах, реакторных отделениях, открытых распределительных устройствах и деаэрационных этажерках АЭС.

Установлено, что первоначальные действия при возникновении пожаров в помещениях АЭС проводит оперативный персонал, работающий в круглосуточном сменном режиме, в составе оперативных бригад.

Одним из примеров неготовности к действиям персонала АЭС при возникновении пожара является пожар, происшедший 30 декабря в 1978 года на Белоярской АЭС (Россия, Свердловская область), в результате которого 25 человек из числа персонала АЭС и пожарных получили сильнейшие отравления продуктами горения.

В целях определения временного периода самостоятельных действий оперативного персонала при пожарах в помещениях АЭС проведен анализ реагирования подразделений ФПС ГПС по охране АЭС к месту вызова (таблица 1).

Таблица 1 – Реагирование подразделений ФПС ГПС по охране АЭС к месту вызова

Атомная станция	Объектовое пожарно-спасательное подразделение	Объект защиты АЭС	Дата	Расстояние от ПСЧ до КПП, км	Время следования, мин
Калининская АЭС	ПСЧ-8	Фаза «В» шунтирующего реактора Р-1-750	23.07.2010	0,5	4
Смоленская АЭС	ПСЧ-1	Склад дизельного топлива 2-й очереди	31.10.2012	0,15	2
Белоярская АЭС	ПСЧ-35	Крыша деаэрационной этажерки реактора БН-600	27.06.2013	1	35
Курская АЭС	ПСЧ-8	Силовая сборка 17001Н КРУ 0,4 кВт пом. № 103/1 блока ВСРО	20.03.2014	0,8	20
Ростовская АЭС	ПСЧ-37	Открытая площадка ресиверов водорода, азота	09.02.2015	0,2	16

В результате анализа установлен временной период реагирования подразделений, который по различным причинам может составлять от 2 до 35 минут. Установлены причины задержки прибытия пожарно-спасательных подразделений к месту вызова на территорию АЭС, к ним необходимо отнести позднее обнаружение пожара, несвоевременное сообщение о пожаре, задержка срабатывания автоматических средств пропускания пожарной техники на территорию АЭС.

Проведенный анализ работы оперативного персонала щитов управления и цехов (отделов) АЭС показал, что ее спецификой является круглосуточная многосменная работа в составе оперативных бригад, выполняющих определенные функции в технологическом процессе по выработке электрической энергии. На рисунке 1 представлен примерный перечень первоочередных действий, выполняемых оперативным персоналом при пожаре на действующем энергоблоке АЭС в России.

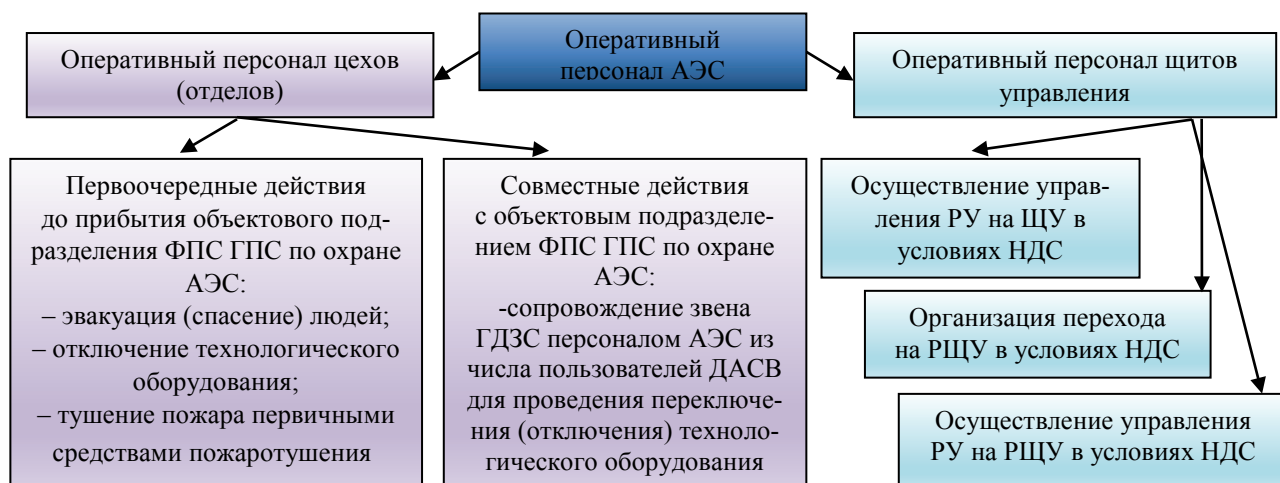


Рисунок 1 – Примерный перечень первоочередных работ оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях АЭС

Проведенный анализ нормативных документов концерна по защите оперативного персонала показал, что основными проблемными вопросами явились вопросы обеспеченности оперативного персонала техническими средствами защиты от воздействия опасных факторов пожара, обучения,

аттестации, подготовки к выполнению работ в дыхательных аппаратах в условиях пригодной для дыхания среды при пожарах, медицинского освидетельствования и другие.

В процессе выполнения настоящей диссертационной работы был проведен анализ и исследование вопросов организации защиты оперативного персонала Ростовской, Калининской, Курской, Нововоронежской и Смоленской АЭС при выполнении действий в начальной стадии развития пожаров. В результате исследований был 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.

Необходимо провести исследования по разработке комплекса организационных и технических мероприятий, позволяющих обеспечить возможность выполнения действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях АЭС.

Во второй главе «Прогноз развития опасных факторов пожара в типовых помещениях атомных электростанций» рассмотрены вопросы прогнозирования динамики изменения параметров газовой среды при пожарах в помещениях АЭС (в первую очередь опасных факторов пожара) для определения их влияния на оперативный персонал станции, а также выбора технических средств, позволяющих работать в условиях их воздействия.

Большое количество ученых различных научных школ и специалистов в области пожарной безопасности занимается прогнозированием опасных факторов пожара в целях определения степени их воздействия на организм человека для последующего проведения своевременной эвакуации людей при пожаре. В отличие от иных объектов, оперативный персонал АЭС при пожаре не эвакуируется, а продолжает свою работу в условиях воздействия опасных факторов пожара.

В качестве исследуемого объекта выбрана АЭС с реактором типа РБМК-1000 вследствие их более длительных сроков эксплуатации (в среднем 38 лет) по сравнению с другими видами реакторных установок.

Для определения развития опасных факторов пожара в типовых помещениях АЭС использовался программный комплекс *Fire Dynamics Simulator (FDS; Version 6)*, соответствующий действующим методикам расчета величин пожарного риска.

Проведенный расчет динамики развития пожара в помещении блочного щита управления АЭС с реактором типа РБМК-1000 показал следующее:

1. Потеря видимости (менее 20 метров) в помещении БЩУ наступит через 3 минуты с момента возникновения пожара (рисунок 2). Прибытие к этому времени пожарных подразделений по охране АЭС и начало их эффективных действий по тушению пожара при данном сценарии его развития маловероятно. Тушение очага пожара целесообразно проводить оперативному персоналу имеющимися первичными средствами пожаротушения.

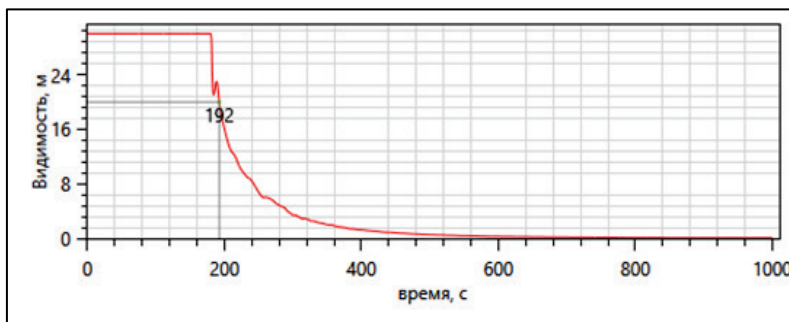


Рисунок 2. – Критический показатель по потере видимости

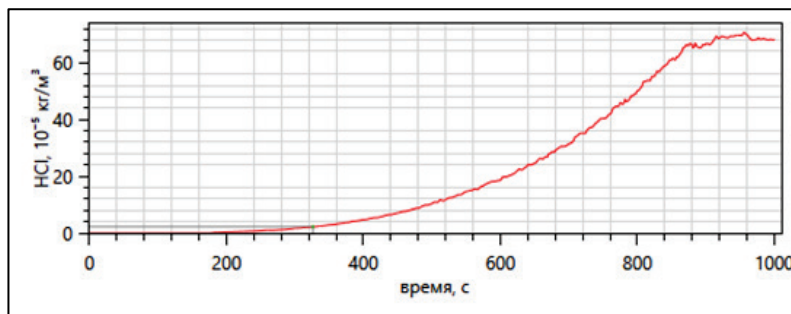


Рисунок 3. – Рост уровня содержания хлороводорода в воздухе помещения блочного щита управления АЭС

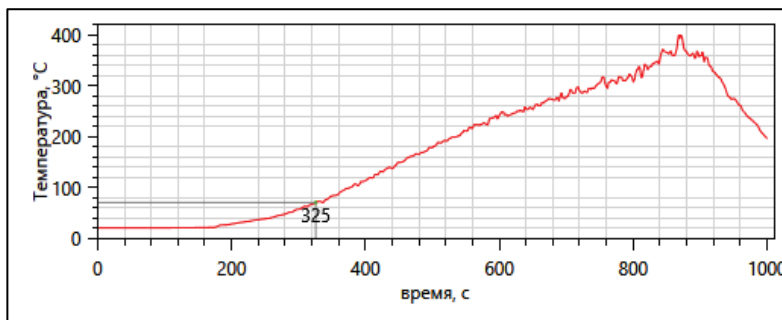


Рисунок 4. – Рост абсолютной температуры на уровне рабочей зоны в помещении БЦУ АЭС реактором типа РБМК

140–160 °C (рисунок 4). В этой связи оперативный персонал должен применять средства защиты тела человека от воздействия высокой температуры, искр, теплового потока, открытого пламени раскаленных предметов.

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 блочного щита управления. 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 блочном щите управления уже через 900–1200 секунд.

5. При дальнейшем развитии пожара на блочном щите управления пребывающим пожарно-спасательным подразделениям по охране АЭС необходимо принять меры по защите оперативного персонала, осуществляющего контроль и управление реакторной установки от воздействия ОФП. При невозможности выполнять дальнейшие работы на блочном щите управления необходимо использовать резервный щит управления.

2. Динамика развития пожара на блочном щите управления показывает, что уровень содержания вредных и токсичных веществ в воздухе через 5 минут достигнет критического предела (рисунок 3). В этом случае оперативный персонал должен использовать дыхательный аппарат со сжатым воздухом для защиты органов дыхания и зрения при выполнении работ по контролю состояния реакторной установки.

3. Уровень абсолютной температуры на уровне рабочей зоны в помещении блочном щите управления уже через 5,5 минут после начала горения приблизится к отметке 70 °C и в дальнейшем будет неуклонно расти.

Через 9 минут он составит порядка

Проведенные расчеты динамики развития возможного пожара в помещении машинного зала АЭС с реактором типа РБМ-1000 показали следующее:

1. Потеря видимости (менее 20 метров) в помещении машинного зала наступает менее чем через одну минуту с момента возникновения пожара (рисунок 5). Прибытие к этому времени пожарных подразделений по охране АЭС и начало их 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 АЭС с применением первичных средств пожаротушения, уделив особое внимание технике безопасности.

2. Динамика развития пожара в помещении машинного зала показала, что уровень абсолютной температуры на уровне рабочей зоны уже через 2 минуты с момента возникновения горения превысит отметку в $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ и в дальнейшем будет неуклонно расти. Через 5 минут температура составит порядка $110\text{--}120\text{ }^{\circ}\text{C}$, а через 10 минут превысит показатель в $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рисунок 6). В этой связи оперативный персонал должен применять средства защиты тела человека от воздействия высокой температуры, искр, теплового потока, открытого пламени и раскаленных предметов.

3. Через 3 минуты с момента возникновения пожара содержание кислорода в воздухе уменьшится до критического показателя (рисунок 7). Для выполнения дальнейших работ в данных условиях оперативному персоналу машинного зала АЭС необходимо применение дыхательного аппарата со сжатым воздухом.

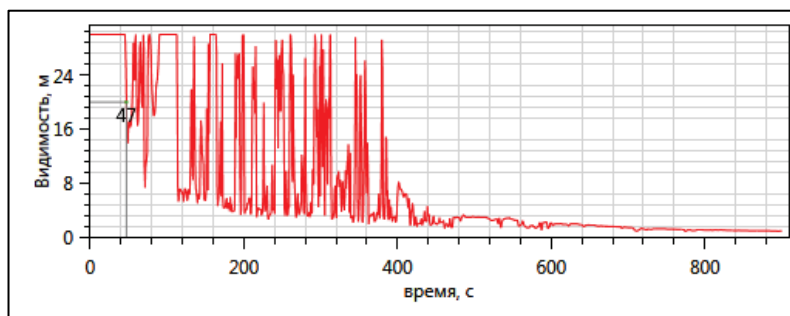


Рисунок 5 – Критический показатель по потере видимости на уровне рабочей зоны помещения машинного зала АЭС

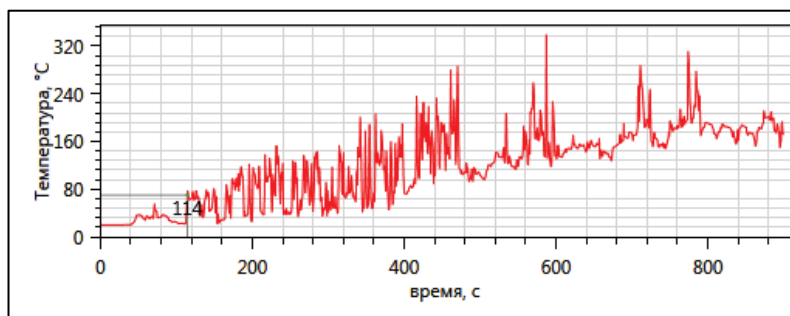


Рисунок 6 – Временная граница наступления критического показателя абсолютной температуры на уровне рабочей зоны в расчетной точке № 2 помещения машинного зала АЭС

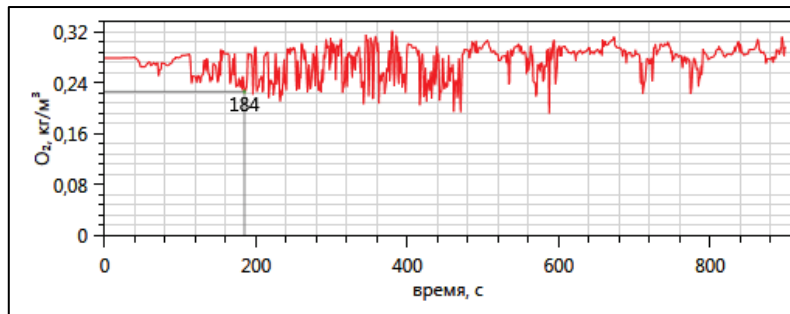


Рисунок 7 – Изменение концентрации кислорода (O_2) в воздухе в расчетной точке 2 помещения машинного зала

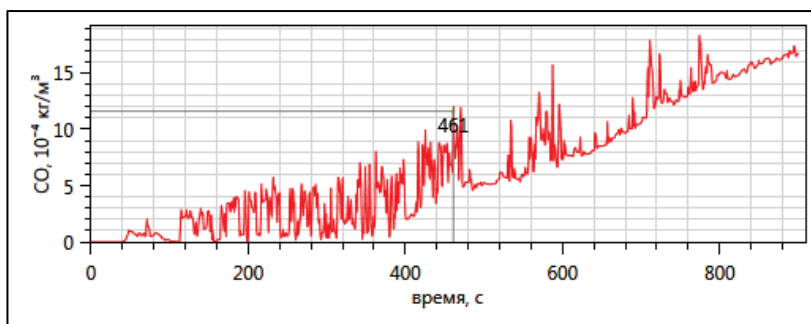


Рисунок 8 – График роста концентрации монооксида углерода в расчетной точке 2 помещения машинного зала АЭС

4. Критический показатель концентрации монооксида углерода (CO) помещения машинного зала наступит через 7,5 минут с момента возникновения пожара (рисунок 8). Проведение работ в условиях воздействия вредных и токсичных веществ необходимо проводить в средствах

защиты органов дыхания и зрения.

5. Быстрый рост опасных факторов пожара в помещении машинного зала показывает невозможность тушения пожара оперативным персоналом АЭС, однако в этот короткий период необходимо провести неотложные действия по эвакуации (спасению) персонала, проведению экстренных технологических переключений оборудования и сбору информации о происшествии для передачи данных пребывающим пожарно-спасательным подразделениям. Все вышеперечисленные мероприятия необходимо проводить с использованием необходимых технических средств, 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.

Динамика развития пожаров в помещениях щита управления и машинного зала АЭС показывает необходимость разработки комплексной защиты оперативного персонала, работающего в этих условиях. Исходя из практического опыта применения средств защиты человека от воздействия опасных факторов, возникающих при пожарах, можно сделать вывод о том, что минимально-необходимый перечень средств должен содержать следующие позиции (рисунок 9):

1. Для защиты органов дыхания и зрения человека от вредного воздействия непригодной для дыхания токсичной и задымленной среды при пожарах в зданиях, сооружениях и на производственных объектах различного назначения необходимо использовать аппараты дыхательные со сжатым воздухом.

2. К средствам защиты тела человека от воздействия опасных факторов пожара (высокой температуры, искр, раскаленных предметов, открытого пламени) необходимо отнести защитные краги, защитную одежду.

3. Одновременно с использованием средств защиты оперативный персонал необходимо оснастить комплектом технических оборудования для обеспечения действий при пожаре, спасению людей из непригодной для дыхания среды, оказания первой помощи пострадавшим, первичного тушения пожаров в начальной стадии их развития.

Исходя из специфики отрасли – энергетики, минимальный комплект технических средств по мнению автора должен содержать следующие позиции:

– технические средства для работы при пожаре (переговорное устройство, трос–сцепка, фонарь, топор пожарного, диэлектрический комплект);

- технические средства спасения людей (самоспасатель промышленный индивидуальный, специальная огнезащитная накидка);
- средства оказания первой помощи пострадавшему (медицинская аптечка для оказания первой помощи для энергетических предприятий);
- первичные средства тушения пожаров в начальной стадии развития (кошма, переносное устройство аэрозольного пожаротушения электропомещений и электрооборудования, находящегося под напряжением до 10 кВ для тушения пожаров в начальной стадии их развития).

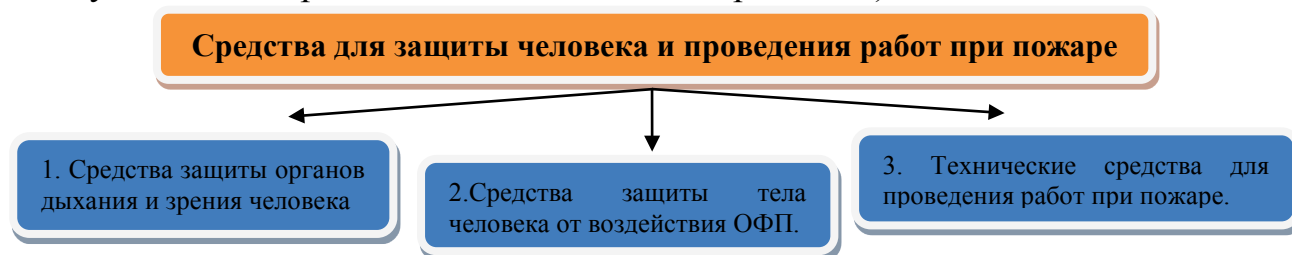


Рисунок 9 – Средства для защиты человека и проведения работ при пожаре

В третьей главе «Обеспечение действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций» сформирован минимально-необходимый комплект технических средств для защиты и обеспечения действий оперативного персонала в случаях возникновения пожаров в помещениях АЭС.

Для определения возможностей транспортировки комплекта произведен расчет энергозатрат человека. За основу расчета принята методика определения энергозатрат членов аварийно-спасательных подразделений горноспасательных частей. Исследования в этой области проводятся на протяжении нескольких десятков лет, а полученный положительный опыт применяется повсеместно при проведении поисково-спасательных работ в шахтах и горных выработках. Необходимо отметить, что масса переносимого снаряжения оказывает большое влияние на работоспособность и энергозатраты человека. Для оценки этого влияния и проведения ориентировочных расчетов была установлена 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

$$q_M = q_0 + q_G, \quad (1)$$

где q_0 – потребление кислорода человеком при ходьбе без груза, л/м; q_G – дополнительное потребление кислорода человеком при перенесении груза, л/м.

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

$$q_{Gy} = q_G/m_G, \quad q_{0y} = q_0/m_0, \quad (2)$$

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.

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

$$\phi = q_{Гу} / q_{0у}. \quad (3)$$

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.

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

$$\phi = m_0 (q_M - q_0) / (q_0 m_G). \quad (4)$$

Отсюда следует, что

$$q_M / q_0 = (1 + \phi m_G / m_0). \quad (5)$$

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

$$\Phi_M / \Phi_0 = (1 + \phi m_G / m_0), \quad (6)$$

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

Отсюда следует, что $\Phi_M = \Phi_0 (1 + \phi m_G / m_0)$. (7)

В результате проведенного расчета выявлено, что при переносе оборудования массой порядка 40 кг к месту пожара энергозатраты человека составят порядка 416 Вт, что в соответствии с ГОСТ 12.1.005–88 «Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» приравнивается к тяжелой физической работе. Проведенный расчет показал, что только транспортировка оборудования забирает огромное количество энергии у человека и проведение дальнейших работ на пожаре будет осложнено, так как физические возможности человека не безграничны.

Разработан прототип передвижного комплекта технических средств для защиты и обеспечения действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях АЭС (рисунок 10).



Рисунок 10 – Прототип передвижного комплекта



Рисунок 11 – Промышленный кейс на колесах, имеющий рукоять для транспортировки

В целях облегчения транспортировки комплекта технических средств предложено использовать промышленный кейс на колесах, имеющем рукоять для транспортировки (рисунок 11). При этом по мнению автора, применение кейса на колесах позволит осуществлять транспортировку технических средств с меньшими энергозатратами.

Разработанный комплект прошел комплексные испытания в условиях учебно- тренировочных комплексов («Грот», «Лава», «Уголек»):

- по доставке технических средств защиты и обеспечения действий оперативного персонала АЭС при пожарах;
- по определению уровня работоспособности людей, с различными антропометрическими данными в средствах защиты, входящими в комплект технических средств и в боевой одежде пожарного;
- по удобству пользования комплекта технических средств в условиях, приближенным к реальным (воздействие высокой температуры, задымленное и не освещенное помещение, воздействие открытого пламени).



Рисунок 12 – Фрагменты проведения натурных экспериментов:

а – прохождение лабиринта; б – спасение человека; в – тушение пожара с помощью кошмы

Проведенные натурные испытания комплекта показали простоту использования и надежность узлов и агрегатов СИЗОД; применение промышленного кейса на колесах уменьшает время транспортировки комплекта технических средств к месту выполнения работ и повышает удобство их использования; применение защитной плащ-накидки от воздействия опасных факторов пожара по сравнению с боевой одеждой пожарного облегчает работу человека в условиях задымленной, загазованной и (или) непригодной для дыхания среде при средних и повышенных нагрузках, воздействию искр, теплового потока и открытого пламени в течение времени, необходимого для проведения неотложных действий по эвакуации и спасению людей, технологических отключений (переключений) оборудования и посильных действий по тушению пожара в начальной стадии его развития.

Проведена серия испытаний по транспортировке комплекта технических средств по различным поверхностям, наружным металлическим лестницам, лестничным маршам, пандусам, имеющим различные углы наклона (рисунок 13).

В ходе проведения экспериментов были получены значения силы, необходимой для транспортировки комплекта по различным горизонтальным и наклонным поверхностям. Проведенные эксперименты показали возможность

транспортировки комплекта технических средств по наружным металлическим лестницам, с углом наклона 65° и 70° и шириной 0,8 и 0,9 м соответственно. Установлено, что разница значений силы при транспортировке комплекта по горизонтальным поверхностям различных покрытий невелика.

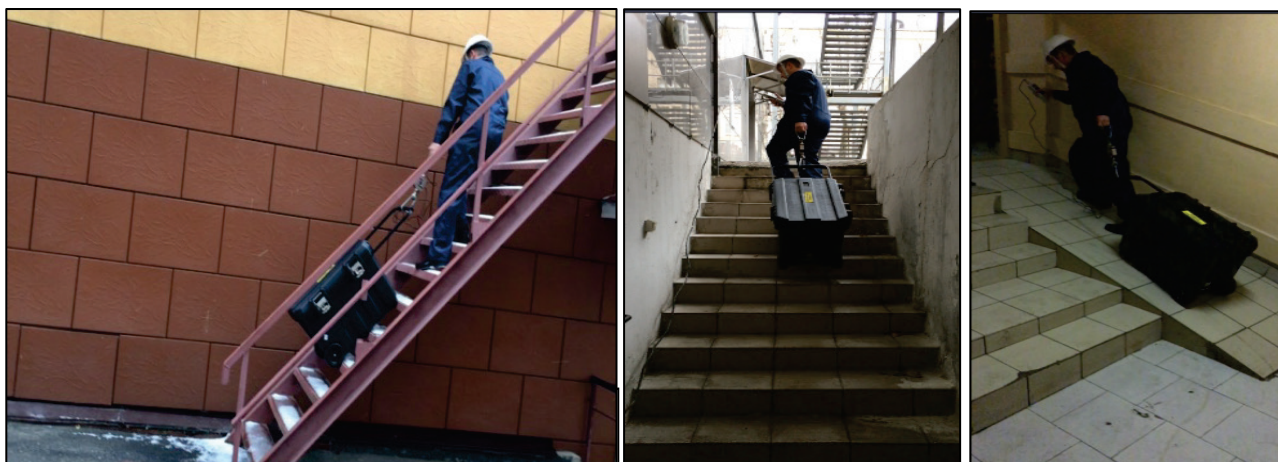


Рисунок 13 – Транспортировка оборудования по различным видам поверхностей:

а – наружные металлические лестницы с различным углом наклона;

б – железобетонные капитальные лестницы; *в* – наклонные поверхности (пандусы)

На основе проведенного расчета развития опасных факторов пожара в типовых помещениях АЭС с реактором типа РБМК разработаны модели действий оперативного персонала. Так, для оперативного персонала блочного щита управления временные показатели действий можно представить в следующем виде (рисунок 14):

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

Временные показатели действий оперативного персонала в помещениях машинного зала АЭС можно представить в следующем виде (рисунок 15):

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

Изучение процесса действий оперативного персонала показало, что временные характеристики этих действий являются, как правило, недетерминированными – вероятностными, нечеткими или интервальными.

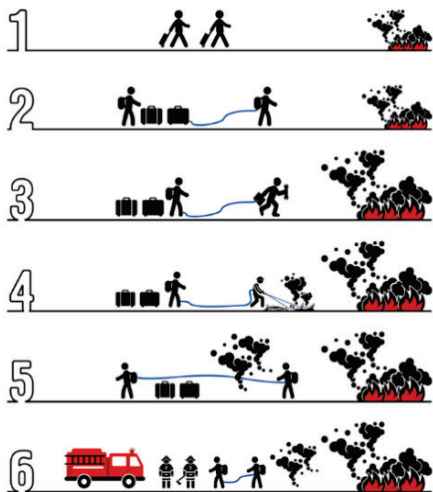


Рисунок 14 – Модель действий оперативно-го персонала щитов управления АЭС

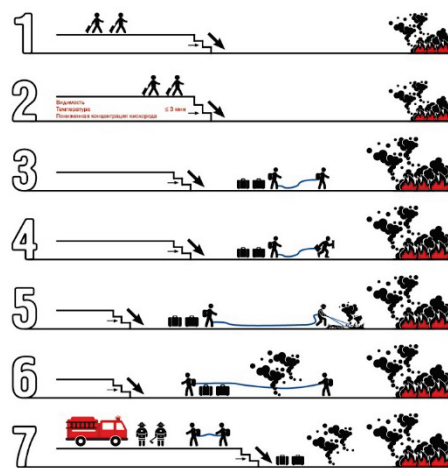


Рисунок 15 – Модель действий оперативно-го персонала машинного зала АЭС

Моделирование таких процессов предусматривает совершение алгебраических действий с недетерминированными величинами – сложение, вычитание, перемножение, деление, взятие функций. Применительно к вопросам обеспечения пожарной безопасности на АЭС рассмотрены вопросы действий оперативного персонала с интервальными величинами, при этом используются следующие положения:

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:

$$\begin{bmatrix} y_m \\ y_6 \end{bmatrix} = \alpha_1 \mp \sqrt{3(\alpha_2 - \alpha_1^2)} \quad (1)$$

где α_1, α_2 – параметры (начальные моменты), которые для некоторых алгебраических действий приведены в таблице 2.

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

$$[y] = [x_1] + [x_2] + [x_3] = [x_1] + [x_4] = [x_3] + [x_5], \quad (2)$$

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

При сложении/умножении:

$$[y] = [x_1]([x_2] + [x_3]) = [x_1][x_2] + [x_1][x_3] = [x_3][x_1] + [x_1][x_2]. \quad (3)$$

Таблица 2 – 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	$[y] = \frac{1}{[x_1]}$	$\frac{1}{x_{16} - x_{1m}} \ln \frac{x_{16}}{x_{1m}}$	$\frac{1}{x_{1m}x_{16}}$

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.

Из этого следуют соотношения:

$$\begin{bmatrix} y_m \\ y_6 \end{bmatrix} = 0,5 \left[\sum_{i=1}^n (x_{im} + x_{i6}) \mp \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{i6} - x_{im})^2} \right] \quad (4)$$

Так, при оценке суммарного времени действий оперативного персонала при пожаре на щите управления АЭС, исходим из следующих условий, что эти действия состоят из шести ($n = 6$) этапов, а продолжительность каждого этапа – интервальная величина $[t_{им}, t_{иб}]$, приведенная в таблице 3.

Таблица 3 – Временные характеристики этапов действий оперативного персонала при пожаре на щите управления

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

По результатам расчетов получена интервальная оценка общего времени действий персонала при пожаре на щите управления атомной электростанции: $[y] = [13,13; 20,87]$ минут.

При оценке суммарного времени действий оперативного персонала при пожаре в машинном зале атомной электростанции исходим из следующих условий, что эти действия состоят из восьми ($n = 8$) этапов, а продолжительность каждого этапа – также интервальная величина $[t_{им}, t_{иб}]$, приведенная в таблице 4.

Таблица 4– 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. Надевание СЗ, включение в ДАСВ	6. Сбор информации, переключение, тушение	7. Выход из зоны НДС	8. Передача информации прибывающим пожарным
$t_{им}$, мин	0,5	1	1	5	4	2	2,0	1,0
$t_{иб}$, мин	1,5	3	3	6	5	3	4,0	3,0

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

С использованием интервального анализа становится возможным с большей объективностью оценивать временные характеристики действий оперативного персонала при пожарах на АЭС, что, в свою очередь, позволит планировать действия по тушению пожаров и эффективно готовить оперативные подразделения объектов к действиям до прибытия пожарных подразделений.

В четвертой главе «Разработка рекомендаций и методики подготовки оперативного персонала к действиям при возникновении пожаров в помещениях атомной электростанции» разработан алгоритм подготовки и применения комплекта оперативным персоналом на АЭС в круглосуточном сменном режиме работы. Алгоритм включает в себя 3 этапа.

1 этап – подготовка к использованию. Подготовка комплекта включает в себя: заправку дыхательного аппарата воздухом и проведение его обслуживания, проверку сроков годности самоспасателя и медицинской аптечки, проверку работоспособности переговорного устройства, при необходимости его зарядку, а также визуальный осмотр исправности всех технических средств, входящих в комплект.

II этап – использование комплекта в дежурной смене. При заступлении на дежурство производится прием–передача комплекта, с визуальной проверкой наличия пломбы на кейсе и показаний выносного индикатора давления дыхательного аппарата через смотровое окно (рисунок 16).

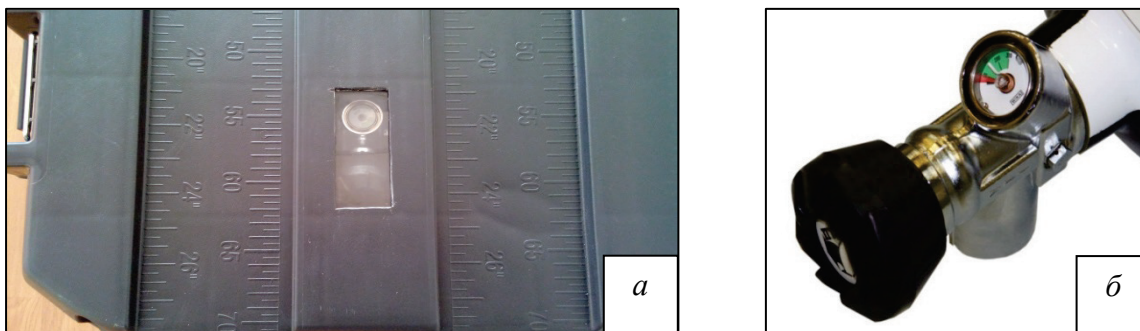


Рисунок 16 – Расположение смотрового окна в крышке кейса для осмотра выносного индикатора давления дыхательного аппарата:

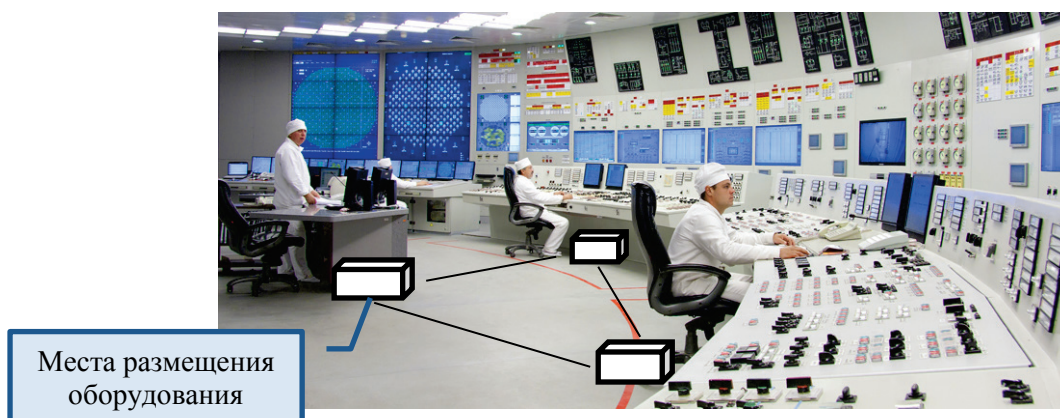
а – смотровое окно промышленного кейса; *б* – индикатор заряда дыхательного аппарата

III этап – использование комплекта при возникновении пожара в помещениях АЭС. При получении сигнала о пожаре персонал АЭС выдвигается к месту его возникновения с передвижным комплектом для сбора необходимой информации, при воздействии опасных факторов пожара – самостоятельно выбирает перечень необходимых средств защиты. Проведение работ в условиях непригодной для дыхания среды при пожарах осуществляется с использованием переговорного устройства и страховочной сцепки. Осуществление данного вида работ проводится с учетом требований охраны труда не менее чем двумя лицами. После использования комплект технических средств передается на заправку и техническое обслуживание.

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 17);

- применительно к машинному залу размещать передвижные комплекты необходимо по принципу защитных зон, исходя из места дислокации оперативного персонала АЭС (рисунок 18).



Места размещения оборудования

Рисунок 17– Места предлагаемого размещения передвижных комплектов технических средств на примере блочного щита управления Смоленской АЭС

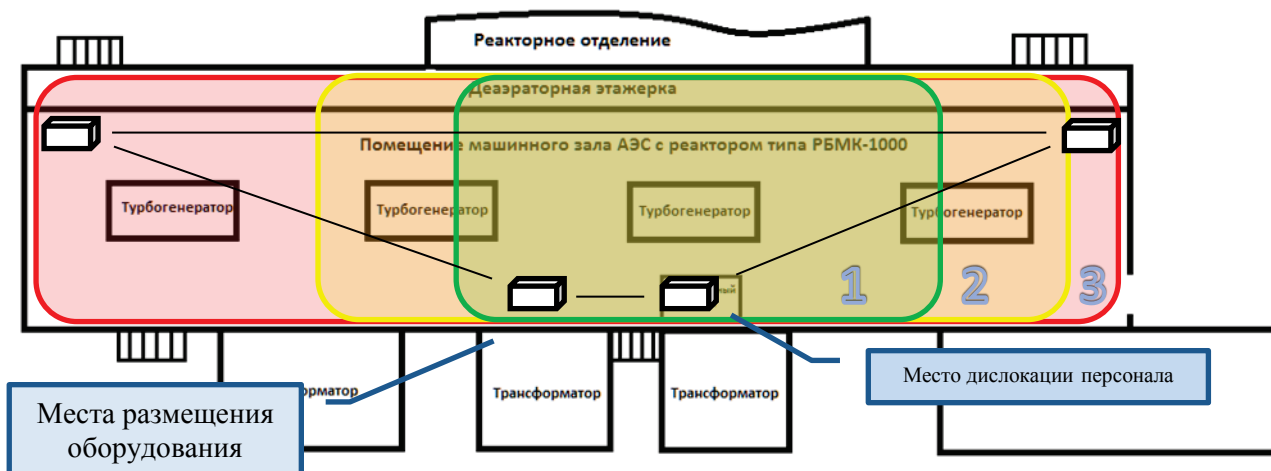


Рисунок 18 – Помещение машинного зала с защитными зонами и расположением комплектов:

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

Проведенные в работе исследования и расчеты подтверждены комплексным испытанием передвижного комплекта при проведении пожарнотактического учения на крупном энергопредприятии, с участием оперативного персонала (рисунок 19).



Рисунок 19 – Комплексные испытания комплекта оборудования:

а – реагирование оперативного персонала на пожар; б – надевание средств защиты; в – сбор информации до прибытия пожарных подразделений, спасение пострадавших

В результате проведенных экспериментов выявлено следующее: доставка средств защиты и обеспечения действий персонала, размещенных в промышленном кейсе на колесах, уменьшает время реагирования оперативного персонала на пожар; участники экспериментов при переносе технических средств вручную не смогли взять с собой весь перечень необходимого оборудования; в тоже время участники экспериментов отмечают удобство хранения и доставки оборудования с использованием промышленного кейса на колесах. Проведенные экспериментальные исследования показали целесообразность применения комплекта оперативным персоналом на атомных электростанциях.

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

Математическое ожидание фактического расхода огнетушащего вещества Q_{ϕ} и стандартное отклонение σ_Q определялись по формулам

$$Q_{\phi} = \frac{Q_{\max} + Q_{\min}}{2}, \sigma_Q = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{6}.$$

Математическое ожидание линейной скорости распространения пламени и стандартное отклонение определялось по формулам

$$V_{\text{л}} = \frac{V_{\max} + V_{\min}}{2}, \sigma V = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{6}.$$

Требуемый расход и дисперсия (погрешность расчета) были определены по формулам

$$Q_{\text{тр}} = \frac{\Pi}{4} I \tau^2 V_{\text{л}^2}; \sigma_{\text{тр}^2} = \left(\frac{\Pi}{4} \tau^2 V_{\text{л}^2} \right)^2 \sigma I^2 + \left(\frac{\Pi}{4} I 2 \tau V_{\text{л}^2} \right)^2 \sigma \tau^2 + \left(\frac{\Pi}{4} I \tau 2 V_{\text{л}} \right)^2 \sigma V^2.$$

Для оценки надежности тушения очага пожара ручным стволом применялась формула:

$$R_{\text{н}} = K_1 K_2 \Phi \left(\frac{Q_{\phi} - Q_{\text{тр}}}{\sigma_{\phi^2} + \sigma_{\text{тр}^2}} \right),$$

где K_1 – вероятность нахождения в помещении очага пожара людей, умеющих тушить пожар в очаге ручными пожарными стволами; K_2 – вероятность нахождения внутреннего противопожарного водопровода в исправном состоянии. Проведенные расчеты занесены в таблицу 5.

Таблица 5 – Оценка надежности тушения пожара ручным стволом

Время начала тушения пожара, τ мин*	Требуемый расход воды на тушение пожара $Q_{\text{тр}}$, л/с	Надёжность тушения пожара, $R_{\text{н}}$
<i>РС-50 (диаметр сопла 13 мм)</i>		
4	1,13	0,93
5	1,76	0,87
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 минут (получение сигнала, одевание средств защиты, подготовка рабочей линии от пожарного крана).

Анализ проведенных исследований возможности применения передвижного комплекта оборудования показал, что наиболее важным фактором, влияющим на действия персонала в условиях воздействия опасных факторов пожара является уровень их подготовки. Для выполнения действий при пожаре, связанных с использованием дыхательных аппаратов, необходимо пройти соответствующее специальное обучение на право их использования. Кроме этого, для поддержания навыков работы и выработки психологической устойчивости, физиологической готовности у персонала АЭС целесообразно проводить периодические практические занятия (тренировки) с использованием дыхательных аппаратов. Тренировки необходимо поделить на следующие направления (рисунок 20).

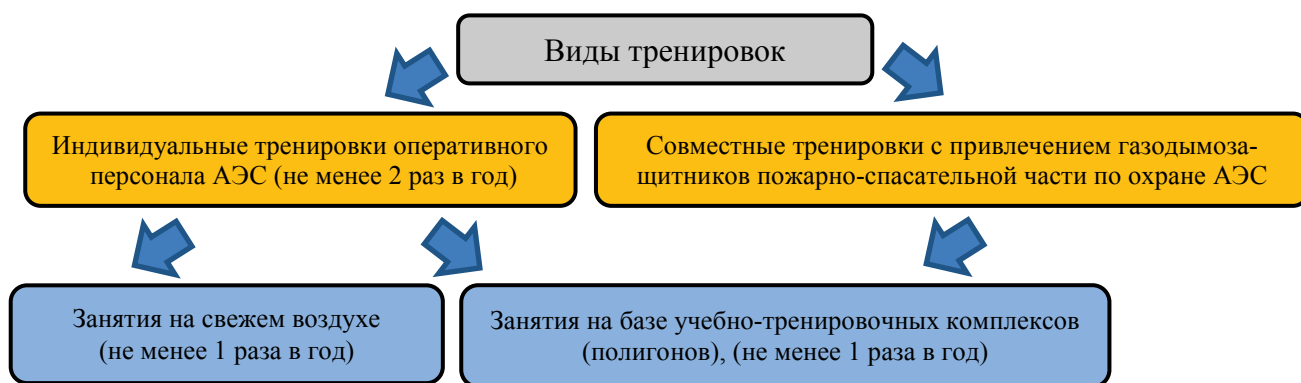


Рисунок 20 – Виды тренировок оперативного персонала АЭС.

В целях постоянной готовности персонала АЭС к выполнению обязанностей в условиях непригодной для дыхания среды при пожарах, рекомендуется проводить практические занятия в рамках противопожарных тренировок и ежегодной программы поддержания квалификации не менее 2-х раз в год (одна тренировка на свежем воздухе и другая на базе учебно-тренировочных комплексов (полигона)). Также необходимым условием успешных действий при пожаре является проведение совместных тренировок с привлечением газодымозащитников пожарно-спасательного подразделения по охране АЭС для отработки совместных действий по тушению пожаров и управлению технологическим процессом по выработке электрической энергии в условиях воздействия опасных факторов пожара.

Заключение содержит констатацию основных научных и практических результатов работы. **В приложении** представлены разработанные нормативные документы и акты внедрения результатов диссертационной работы.

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.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в следующих рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК:

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

2. Харевский, В.А. Разработка комплекса средств защиты оперативного персонала атомных электростанций при пожаре [Текст] /А.Е. Богданов, А.Д. Ищенко, И.С. Фогилев// Пожары и чрезвычайные ситуации, предотвращение, ликвидация. – 2015. – № 4. – С. 13–18.

3. Фогилев, И.С. Защита оперативного персонала энергопредприятий в условиях воздействия опасных факторов пожара [Электронный ресурс] / А.Д. Ищенко, А.И. Соковнин, М.А. Шурыгин // Технологии техносферной безопасности. – 2016 – № 5 (69). Режим доступа: <http://academygps.ucoz.ru/ttb/2016-5/2016-5.html> (дата обращения 15.12.2016).

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

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

6. Фогилев, И.С., Ищенко, А.Д. Моделирование действий оперативного персонала атомной электрической станции 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

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

Остальные публикации по теме диссертации:

1. 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.

2. 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.

3. Фогилев, И.С. Применение комплекта средств защиты оперативного персонала при возникновении пожаров (аварий) на атомных электростанциях [Текст] / А.Д. Ищенко // Материалы международной научно-практической конференции «Чернобыль – 30 лет». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 33–45.

4. 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.

5. 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 и энергетики Российской академии наук. – М.: ИБРАЭ РАН, 2017. – 158 с.

6. Фогилев, И.С. Взаимодействие подразделений ФПС ГПС по охране АЭС с Федеральной службой войск национальной гвардии при реагировании на пожары на объектах атомных электростанций [Текст] / А.Д. Ищенко, А.А. Назарко // Материалы VI международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» – М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 90–92.