

На правах рукописи



Ищенко Андрей Дмитриевич

**ТЕОРИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОЖАРОВ
В ЗДАНИЯХ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ**

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2021

Работа выполнена на кафедре пожарной тактики и службы учебно-научного комплекса пожаротушения Академии ГПС МЧС России

Научный консультант: **Алешков Михаил Владимирович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Порошин Александр Алексеевич**
доктор технических наук, старший научный сотрудник, начальник научно-исследовательского центра организационно-управленческих проблем пожарной безопасности ФГБУ ВНИИПО МЧС России

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

Кондратьева Ольга Евгеньевна
доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой Инженерной экологии и охраны труда ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Академия гражданской защиты»
МЧС России

Защита диссертации состоится «28» сентября 2021 года в 14 часов 00 минут 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:

<https://academygps.ru/upload/iblock/309/309fd03d5fbf414a880ab56b1e5e483f.pdf>

Автореферат диссертации разослан «30» июня 2021 года

Ученый секретарь
диссертационного совета



Сивенков Андрей Борисович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Возникновение нештатной ситуации на отдельном объекте энергетики может привести к аварийной работе заметной части энергетического сектора в целом. Данный сектор представляет собой связанную сложную структуру, которая производит различные виды энергии и транспортирует ее до потребителя. Особую опасность представляют атомные электростанции (АЭС). Пожар на АЭС, если он своевременно не локализован, может иметь катастрофические последствия. Аварии, произошедшие на Чернобыльской АЭС и на АЭС «Фукусима-1», известны всему миру.

Сложность пожаров объектов энергетики характеризуется наличием большого количества электрооборудования под высоким напряжением, а также горючей нагрузки в виде турбинного и трансформаторного масел, электроизоляции. Крупные пожары на объектах энергетики чаще происходят в холодное время года, что обусловлено повышенной рабочей нагрузкой. Количество пожаров объектов энергетики в нашей стране в целом уменьшается, в то же время прямой ущерб растет. Общий материальный ущерб на объектах энергетики в значительной мере формируется от последствий крупных пожаров. Следует отметить, что косвенный ущерб, как правило, имеет более значимый размер. В случае пожара приходится останавливать процесс производства энергии и перераспределять мощности, что приводит к повышенной нагрузке и может спровоцировать системную аварию, переходящую в чрезвычайную ситуацию (ЧС), которая может носить и социальный характер, выраженный в нарушении жизнеобеспечения населения и работоспособности объектов.

Анализ статистических данных показывает, что в последние два десятилетия наблюдается рост числа крупных аварий и пожаров со значительным ущербом на объектах энергетической отрасли. В Российской Федерации находится порядка пятисот крупных объектов энергетики. Они рассредоточены по всей территории страны и имеются в каждом пожарно-спасательном гарнизоне (ПСГ). Закономерно, что объекты энергетики в силу своих значительных размеров должны находиться на территории, охраняемой более крупными пожарно-спасательными силами. Однако и из этого общего правила имеются исключения, связанные с удалением значимых для энергетики страны объектов, таких как АЭС и ГЭС, от крупных населенных пунктов. Характер организации тушения пожаров (ТП) на них отличается от пожаротушения на объектах энергетики, расположенных в крупных населенных пунктах, где в течение короткого времени могут быть сосредоточены значительные силы и средства пожарной охраны (СиС ПО).

Чтобы не допустить перерастания пожара или аварии на объекте энергетики в ЧС социально-экономического характера в зоне, которую обеспечивает энергией данный объект энергетики, наряду с превентивными мерами следует организовать тушение возможного пожара таким образом, чтобы минимизировать его влияние на процесс выработки энергии. Локализация пожара является краеугольным понятием в сфере организации пожаротушения, закрепленным в статье 1 Федерального закона от 24 декабря 1994 года №69-ФЗ «О пожарной безопасности». Под локализацией пожара (ЛП) понимаются действия, направ-

ленные на предотвращение возможности дальнейшего распространения горения и создание условий для его ликвидации имеющимися силами и средствами.

Наряду с минимизацией времени начала ТП основополагающим условием для успешной ЛП является непрерывность тушения от момента подачи огнетушащих веществ (ОТВ) до ликвидации пожара. Обеспечение непрерывности тушения подразумевает своевременность сосредоточения необходимых СИС ПО в количестве, достаточном для ЛП в тех размерах, которые он принял к моменту начала тушения. Это известная аксиома, на которой строится система организации ТП и для объектов энергетики, которая ввиду их особого места в обеспечении благополучия населения, должна соблюдаться в первоочередном порядке.

Непрерывность ТП обеспечивается как бесперебойной подачей ОТВ, так и возможностью пожарных осуществлять ее на протяжении всего времени тушения пожара. Обеспечение подачи ОТВ является основой моделирования ТП практически любого вида объектов. Основным подходом к расчетам является огнетушащая способность выбранного ОТВ, что оправдано при полном использовании огнетушащей способности. Однако в практике ТП, особенно пожаров в помещениях, использовать огнетушащую способность полностью не представляется возможным из-за того, что опасные факторы пожара (ОФП) препятствуют подаче ОТВ в очаг пожара (на горящие поверхности). Это происходит из-за снижения видимости, влияния высокой температуры и теплового излучения в помещении пожара. Сочетание воздействия нескольких ОФП, как правило, обладает синергетическим эффектом, что делает доступ к зоне горения еще более затруднительным и опасным для участников тушения пожаров. Наиболее частым ответом на это сочетание опасных факторов является увеличение подачи ОТВ в направлении воздействия ОФП (тушение «по дыму»). В таких условиях полнота использования огнетушащей способности сокращается в разы, а в особо сложных случаях – на порядки.

Следовательно, для своевременной ЛП должно быть обеспечено выполнение нескольких условий: наличие и техническая возможность подачи ОТВ в зону горения; тактическая возможность подачи ОТВ; защита участников ТП от ОФП и их сопутствующих проявлений. Выполнение каждого из этих условий влияет на другие, и на исход тушения пожара в целом. Решающей силой в реализации совокупности условий, обеспечивающих своевременную ЛП в помещениях объекта энергетики, являются участники тушения пожара (пожарные и персонал объекта), а их жизнеобеспечение в условиях воздействия ОФП – необходимое условие осуществления процесса ЛП на объекте энергетики.

Степень разработанности темы исследования. Вопросам, связанным с обеспечением безопасности потенциально опасных и критически важных объектов, посвящено достаточно много работ. Наиболее значимые результаты научных исследований в этой области отражены в работах Брушлинского Н. Н., Воробьева Ю. Л., Болодьяна И. А., Шахраманьяна М. А., Габричидзе Т. Г., Акимова В. А., Гордиенко Д. М., *Frieder K., Marc-Andre, Kies W., Link M., Chen Xing* и других ученых. Авторы этих работ детально анализировали опасности, характерные для этих объектов, исследовали риски возможных аварий и катастроф.

Непосредственно вопросами обеспечения безопасности объектов энергетической отрасли занимались Микеев А. К., Копылов Н. П., Алешков М. В., Пузач С. В., Цариченко С. Г., Смелков Г. И., Пуцев Д. И., *Drewry D., Dieken D., Coutin M., Plumecocq W., Melis S., Aubouin L, Gay L, Gracia R., Wizenne E.* В работах этих авторов представлены результаты исследований, связанных с оценкой защищенности объектов энергетики с точки зрения распространения ОФП по зданиям, обеспечения подачи ОТВ, в том числе в сложных метеорологических условиях.

Весьма показателен тот факт, что на фоне снижения числа пожаров на объектах энергетики возрастает применение пожарными средств защиты, обеспечивающих работу в условиях непригодной для дыхания среды (задымления). Обеспечение ЛП объектов энергетики имеет особенностью необходимость сохранения работоспособности объекта и вытекающую из нее необходимость жизнеобеспечения оперативного персонала в условиях пожара. Наибольшую сложность при ТП объектов энергетики создает задымление горящих и смежных с ними помещений. Фактором, лимитирующим нахождение участников тушения пожаров в условиях воздействия ОФП, является время защитного действия (ВЗД) средств защиты. Закономерно и оптимально суждение, что оно должно превышать время тушения пожара. Когда же ВЗД средств защиты меньше времени тушения пожара, следует принимать дополнительные меры по защите участников в течение всего времени работы.

Однако, до настоящего времени комплексно не рассматривался вопрос локализации пожаров во взаимосвязи всех условий, обеспечивающих своевременное тушение пожаров объектов энергетики в зависимости от их расположения относительно СиС ПО. Следует также отметить, что в проводимых ранее исследованиях решались, в основном, частные задачи по выполнению отдельных условий, обеспечивающих ТП без учета их взаимосвязи с особенностями объектов энергетики. Однако задача обеспечения своевременного ТП объектов энергетики с учетом их специфики требует комплексного решения путем рассмотрения взаимосвязи условий, обеспечивающих своевременную ЛП в зданиях.

Анализ состояния решаемой проблемы позволил сформулировать общую концепцию исследования в виде научно обоснованного решения социально значимой государственной проблемы – минимизации последствий пожаров на объектах энергетики, которые могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций социально-экономического характера, связанных с прекращением подачи энергии населенным пунктам, промышленным объектам и объектам инфраструктуры. Для реализации концепции поставлена цель работы и определены основные задачи исследования.

Цель работы – разработка теории локализации пожара, направленной на сохранение работоспособности объекта энергетики и развитие теоретических основ жизнеобеспечения участников тушения пожара в условиях воздействия опасных факторов.

Основные задачи исследования:

– выполнить анализ последствий пожаров объектов энергетики с учетом мер обеспечения локализации пожаров и реагирования подразделений пожарной охраны с выявлением факторов, негативно влияющих на сохранение работоспособности объекта энергетики;

– провести на основе математического моделирования сравнительный анализ тушения пожаров объектов энергетики, произвести моделирование обеспечения непрерывного тушения пожара объекта энергетики в условиях воздействия опасных факторов на участников тушения пожара и разработать теоретическую основу локализации пожаров объектов энергетики;

– произвести моделирование способов и совершенствование средств защиты участников тушения пожаров объектов энергетики от опасных факторов пожара и обосновать комплекс технических средств обеспечения работ в непригодной для дыхания среде при тушении пожаров объектов энергетики;

– произвести прогнозное моделирование и разработать теоретические основы жизнеобеспечения персонала в условиях воздействия опасных факторов при возникновении пожара на объекте энергетики, ускорения начала действий подразделений пожарной охраны, усовершенствовать методы обеспечения готовности персонала объектов энергетики и пожарных к действиям по локализации пожара;

– разработать теоретическую основу повышения тактико-технических возможностей пожарных по обеспечению тушения пожаров объектов энергетики, для чего разработать способы и средства улучшения видимости в дыму и исследовать возможность локализации пожаров объектов энергетики объемным способом от мобильных средств пожаротушения;

– обосновать метод локализации пожара объекта энергетики, произвести оценку достаточности сил и средств пожарно-спасательных гарнизонов для локализации пожаров объектов энергетики и на их основе разработать концепцию оптимизации противопожарной защиты объектов энергетики.

Объектом исследования являлась локализация пожаров объектов энергетики, направленная на сохранение работоспособности объекта энергетики в случае их возникновения. В качестве **предмета исследования** рассматривались теоретические методы и технические средства локализации пожаров в зданиях объектов энергетики, в том числе, жизнеобеспечение участников тушения пожара.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. На основе анализа влияния масштабов пожаров на работоспособность объектов энергетики и моделирования тушения пожара в условиях воздействия опасных факторов на участников тушения пожара определены наиболее уязвимые элементы системы локализации пожаров объектов энергетики.

2. Предложена теория локализации пожаров объектов энергетики, основанная на моделировании непрерывного тушения пожара объекта энергетики в условиях воздействия опасных факторов на участников тушения пожара, и комплексном тактико-техническом принципе локализации пожара, направленном на сохранение работоспособности объекта энергетики.

3. Разработан, смоделирован и экспериментально подтвержден комплекс мер по снижению воздействия опасных факторов на участников тушения пожаров объектов энергетики, способ увеличения удельного времени защитного действия средств защиты участников тушения пожаров и обоснован прототип комплекса технических средств обеспечения работ в непригодной для дыхания

среде при тушении пожаров объектов энергетики.

4. Разработаны и апробированы модели, расширяющие возможности персонала объекта энергетики и подразделений пожарной охраны по ограничению распространения пожара в начальной стадии его развития и повышению уровня готовности участников тушения пожаров объектов энергетики к действиям в условиях влияния на них опасных факторов пожара.

5. Разработана теория, осуществлено моделирование и экспериментально подтверждена возможность повышения тактико-технических возможностей мобильных средств пожаротушения за счет применения водной среды в метастабильном фазовом состоянии для улучшения видимости в дыму с последующей локализацией пожаров объектов энергетики объемным способом.

6. На основе сопоставления моделей развития и тушения пожара разработана методика оценки достаточности сил и средств для локализации пожара, предложен метод локализации пожара объекта энергетики, позволивший сформировать концепцию оптимизации противопожарной защиты, направленную на сохранение работоспособности объекта энергетики при возникновении пожара.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что доказан принцип установления достаточности сил и средств для своевременной локализации пожара объекта энергетики с учетом сил и средств пожарно-спасательного гарнизона, на основе которого разработан метод локализации пожара объекта энергетики, позволяющий проводить оценку возможности тушения пожара объекта с целью предотвращения развития пожара до размеров, которые могут повлиять на работоспособность объекта энергетики.

Практическая значимость работы состоит в том, что:

1. Обоснована комплектация, механизм эксплуатации и доставки средств защиты оперативного персонала объекта энергетики, позволяющие выполнять действия по предотвращению или минимизации воздействия пожара на процесс выработки энергии до прибытия подразделений пожарной охраны.

2. Разработана методика и средства подготовки оперативного персонала, позволяющие поддерживать достаточный уровень готовности к действиям по предотвращению или минимизации воздействия пожара на объект энергетики.

3. Разработан способ увеличения на 20% удельного времени защитного действия средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения участников тушения пожаров объектов энергетики от непригодной для дыхания среды.

4. Разработан прототип комплекса технических средств обеспечения работ в непригодной для дыхания среде при тушении развившихся пожаров объектов энергетики, позволяющий осуществлять непрерывную работу на протяжении времени локализации и последующей ликвидации пожара.

5. Обоснованы технические решения и разработаны соответствующие технические средства, позволяющие улучшить более чем в два раза видимость при пожаре объекта энергетики и получены показатели осаждения дыма водной средой в метастабильном фазовом состоянии в объеме помещений.

6. Показана более чем десятикратная эффективность локализации пожаров объемным способом от мобильных средств пожаротушения и получены показатели прекращения горения характерных для объектов энергетики материалов при подаче водной среды в метастабильном фазовом состоянии в здания объектов энергетики.

7. Разработана компьютерная программа оценки достаточности сил и средств для локализации пожара объекта энергетики и предложения по составу сил и комплексу средств, способных с учетом дислокации подразделений пожарной охраны осуществить локализацию возникающего пожара на объекте энергетики, с целью сохранения его работоспособности при трех-шестикратном снижении расходов на содержание объектового подразделения пожарной охраны.

Материалы диссертации реализованы при:

– оценке качества эргономических показателей средств защиты органов дыхания с учетом времени защитного действия (Главное управление Государственной противопожарной службы МВД РФ, г. Москва, 1998 г.);

– подготовке специалистов Московского и Санкт-Петербургского институтов пожарной безопасности МВД РФ, Высшего военно-морского инженерного училища МО РФ в части обеспечения работ в непригодной для дыхания среде при пожарах (г. Москва, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, 1998 г.);

– обосновании и экспериментальной оценке технико-биологического подхода к управлению продолжительностью действий газодымозащитников в условиях перегревания (испытательная пожарная лаборатория Управления Государственной противопожарной службы УВД Смоленской области, 2000 г.);

– разработке опытного образца перспективного дыхательного аппарата со сжатым воздухом ИВА-Р20 с увеличенным временем защитного действия (ОАО «Респиратор», г. Орехово-Зуево, 2005 г.);

– разработке концепции, опытного образца и проведении опытной эксплуатации трансформируемого передвижного огневого тренажера для подготовки газодымозащитников (Главное управление МЧС России по Республике Карелия, г. Петрозаводск, 2005 г.);

– разработке конструкции и проведении полигонных испытаний по экономным способам расходования запаса сжатого воздуха в дыхательных аппаратах (40 ГосНИИ Минобороны России, г. Ломоносов, 2006 г.);

– планировании, проведении и оценке результатов производственного научно-исследовательского эксперимента «Оценка эффективности использования температурно-активированной воды и левитирующей пены для тушения пожаров и ликвидации ЧС, вызванных утечкой или проливом горючих материалов, а также пожарами в кабельных коллекторах» (Оренбургский филиал ВНИИПО МЧС России, г. Оренбург, 2011 г.);

– разработке концепции и технического задания на изготовление технического комплекса обеспечения работ по тушению пожара в непригодной для дыхания среде, позволяющего обеспечить непрерывное тушение пожара (Мытищинский приборостроительный завод, г. Мытищи, 2012 г.);

– выполнении научно-исследовательской работы «Научное обеспечение перспективного развития специализированных пожарных частей по тушению крупных пожаров» (п. 1.3-30/Б плана НТД в МЧС России на 2013 год) НИР «СПЧ» (ВНИИПО МЧС России, г. Балашиха, 2013 г.);

– выполнении научно-исследовательской работы «Научно-методическое обоснование оснащения специализированных пожарно-спасательных частей» (п. 5.4-7/А5 Плана НИОКР МЧС России на 2014 год и на плановый период 2015 и 2016 годов, утвержденного приказом МЧС России от 27.03.2014 г. № 140)

НИР «СПСЧ» (Академия ГПС МЧС России, г. Москва, 2015 г.);

– разработке методических рекомендаций 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» (АО «Концерн Росэнергоатом», г. Москва, 2015 г.);

– разработке инструкции И 1.3.2.15.1111-2016 «Организация защиты оперативного персонала атомных станций при пожарах (авариях) в условиях непригодной для дыхания среды» (АО «Концерн Росэнергоатом», г. Москва, 2016 г.);

– выполнении научно-исследовательской работы «Разработка документа стратегического планирования «Основы государственной политики Российской Федерации в области обеспечения пожарной безопасности на период до 2030 года» НИР «Основы ГП ПБ – 2030» (ЦСИ МЧС России, г. Москва, 2016 г.);

– разработке технических решений, направленных на увеличение времени защитного действия средств индивидуальной защиты органов дыхания пожарных (АО «ПТС», г. Подольск, 2018 г.);

– подготовке оперативного персонала Смоленской АЭС к действиям при возникновении пожара (г. Десногорск, 2018 г.);

– выполнении научно-исследовательской работы «Исследование оперативного реагирования и эффективности действий подразделений пожарной охраны при тушении крупных пожаров и проведении связанных с ним аварийно-спасательных работ» (п. 38 Плана НИОКР МЧС России на 2019 год и на плановый период 2020 и 2021 гг., утвержденного приказом МЧС России от 2 апреля 2019 г. № 195), ВНИИПО МЧС России (г. Балашиха, 2019 г.);

– выполнении научно-исследовательской работы «Исследование деятельности органов управления пожарной охраны по нормированию численности и технической оснащённости подразделений пожарной охраны» (НИР «Нормирование ресурсов ПО», п.5 Плана НИОКР МЧС России на 2019 год и на плановый период 2020 и 2021 годов, утвержденного приказом МЧС России от 2 апреля 2019 г. №195) (ВНИИПО МЧС России, г. Балашиха, 2019 г.);

– в процессе расчета сил и средств подразделений Федеральной противопожарной службы при локализации пожаров объектов энергетики объемным способом водной средой в метастабильном фазовом состоянии, Главное управление МЧС России по Приморскому краю (г. Владивосток, 2012–2020 гг.).

Методология и методы исследования. Методологией исследования был определен комплексный тактико-технический принцип локализации пожара объекта энергетики на основе сочетания ресурсов объекта энергетики и сил пожарно-спасательного гарнизона, а также развитие теории жизнеобеспечения участников тушения пожара в условиях воздействия опасных факторов.

Основу теоретических исследований составляли методы теории вероятностей и математической статистики, методы экспертных оценок и математического моделирования, полиинтервальный метод, декомпозиция развития возможных ситуаций при тушении пожаров в условиях воздействия опасных факторов пожара, выявление закономерностей, описания и обобщения.

Моделирование и расчеты, связанные с использованием средств защиты участников тушения пожаров, описанием действий персонала и пожарных в условиях задымления, обеспечения непрерывной работы по тушению развившихся пожаров, проведены с использованием разработанных программных комплексов, а также подтверждены результатами натуральных экспериментов.

Информационной основой исследования являлись отечественные и зарубежные научные и нормативные источники, статистические данные о пожарах в России, описания крупных пожаров и чрезвычайных ситуаций за 1997–2018 гг., планы тушения пожаров на наиболее значимые объекты энергетики, материалы научно-исследовательских работ в сфере организации тушения пожаров.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты влияния масштабов пожаров на работоспособность объектов энергетики и возникновение социально-экономических чрезвычайных ситуаций, связанных с прекращением подачи энергии;

- основные положения теории локализации пожаров объектов энергетики, способствующей сохранению их работоспособности в случае возникновения пожара с учетом достаточности сил и средств пожарно-спасательных гарнизонов;

- комплекс мер совершенствования средств защиты и снижения воздействия опасных факторов на участников тушения пожаров объектов энергетики;

- модели и технические решения, расширяющие возможности персонала объекта энергетики по ограничению распространения пожара в начальной стадии развития, и меры ускорения прибытия подразделений пожарной охраны;

- основные положения теории повышения тактико-технических возможностей мобильных средств пожаротушения и показатели прекращения горения характерных для объектов энергетики материалов объемным способом за счет применения водной среды в метастабильном фазовом состоянии;

- способы, технические средства и показатели улучшения видимости от мобильных средств пожаротушения при осаждении дыма водной средой в метастабильном фазовом состоянии в объеме помещений объектов энергетики;

- прототип комплекса технических средств обеспечения работ в непригодной для дыхания среде при тушении развившихся пожаров объектов энергетики и технические решения, способствующие непрерывному тушению пожара;

- метод локализации пожара объекта энергетики, направленный на сохранение его работоспособности в случае возникновения пожара, и основанные на нем положения концепции оптимизации противопожарной защиты.

Степень достоверности основных результатов, выводов и рекомендаций диссертации обусловлена исследованием применения вероятностных методов к решаемой задаче, а также предпочтительным использованием интервального и полиинтервального методов. Экспериментальные исследования выполнялись с применением измерительного оборудования, прошедшего поверку в аккредитованной лаборатории. Производилось сопоставление экспериментальных и расчетных данных, полученных для идентичных условий. Удовлетворительная сходимость экспериментальных и расчетных данных подтвердила адекватность описания математической моделью исследуемых процессов.

Апробация результатов работы. Основные результаты работы доложены на: XII всероссийской научно-практической конференции «Научно-техническое обеспечение противопожарных и аварийно-спасательных работ» (г. Москва, ВНИИПО МВД России, 1993); научно-практической конференции «Средства спасения – основные тенденции развития, состояние разработки и изготовления современных аварийно-спасательных средств и технология проведения поисково-спасательных работ» (г. Москва, ВНИИ ГОЧС, 1994); научно-практической конференции «Научно-технические решения по предотвращению и ликвидации пожаров» (Формула безопасности – 94) (г. Москва, ВИПТШ МВД РФ, 1994); Международной конференции «Информатизация систем безопасности» ИСБ-94 Международного форума информатизации (г. Москва, ВИПТШ МВД РФ, 1994); научно-технической конференции «Научно-технические решения по предотвращению и ликвидации пожаров» (г. Москва, ВИПТШ МВД РФ, 1995); научно-практической конференции «Актуальные проблемы предупреждения и тушения пожаров на объектах и в населенных пунктах» (Пожарная безопасность – 96) (г. Москва, МИПБМВД РФ, 1996); I Сибирской научно-практической конференции «Проблемы деятельности государственной противопожарной службы регионов Сибири и Дальнего Востока» (г. Иркутск, Восточно-Сибирский институт МВД РФ, 1998); научно-практической конференции «Современные проблемы тушения пожаров» (г. Москва, МИПБ МВД РФ, 1999 г.); XV научно-практической конференции «Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков» (г. Москва, ВНИИПО МВД РФ, 1999 г.); II международной научно-практической конференции «Проблемы обеспечения пожарной безопасности Северо-Западного региона» (г. Санкт-Петербург, СПб университет МВД России, 2001); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты населения и территорий от пожаров и катастроф» (г. Санкт-Петербург, СПб УГПС МЧС России, 2006); VI Форуме старших должностных лиц чрезвычайных служб экономик-участниц форума АТЭС (г. Владивосток, форум АТЭС, 2012); научно-практической конференции «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы» (г. Минск, КИИ МЧС Республики Беларусь, 2013); Международной научно-практической конференции «Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области пожарной безопасности» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2013); X Международной научно-технической конференции «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики» (г. Москва, ВНИИАЭС, 2016); IV международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» (г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет, 2018); I–VI международных научно-практических конференциях «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2012–2016, 2018 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 84 научных работы, в том числе 45 – в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК России, 2 монографии, 8 патентов на изобретения, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, двух приложений. Содержание работы изложено на 422 страницах текста, включает в себя 39 таблиц, 195 рисунков и список литературы из 291 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, определены объект и предмет исследования, поставлены цель и задачи диссертационной работы, представлены сведения о научных результатах и практической значимости.

Глава 1 Современные проблемы тушения пожаров объектов энергетики. *Проведен анализ пожаров на объектах энергетики. Показаны концептуальные современные проблемы на этапе планирования тушения возможных пожаров с учетом наличия сил и средств пожарно-спасательных гарнизонов и особенностей объектов энергетики.*

Значительная часть пожаров приводит к перебоям в поставке энергии. Такие пожары происходят на территории России ежегодно и исчисляются десятками. Социально-значимые пожары крупных объектов энергетики за последнее десятилетие: Барнаульская ТЭЦ (2010); Новосибирская ТЭЦ-2 и Верхнетагильская ГРЭС (2011); Тверская ТЭЦ-3 (2012); Кармановская ГРЭС (2013); Кизеловская ГРЭС (2014); Сургутская и Серовская ГРЭС (2015); Березовская, Рефтинская и Самарская ГРЭС (2016); Якутская ГРЭС (2017); Северная ТЭЦ-27 г. Мытищи (2019).

Анализ пожаров, произошедших в 2011–2018 гг. на объектах энергетики, позволил установить, что доля пожаров на энергопроизводящих объектах, которые приводят к остановке технологического процесса, достигает в отдельные годы половины, а на энергораспределительных объектах – четверти от общего числа (рисунок 1).

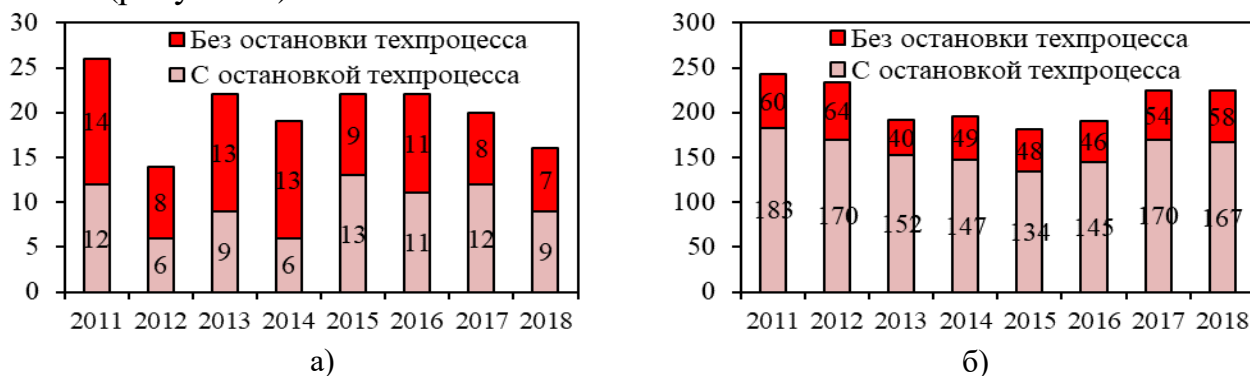


Рисунок 1 – Последствия пожаров в сфере энергетики за 2011–2018 гг.
а) энергопроизводящие объекты; б) энергораспределительные объекты

Анализ аварий на ТЭЦ за период с 2004 по 2017 гг. показал, что более двух третей аварий (69,6 %) сопровождалась пожарами. Большинство аварий происходит в главных корпусах ТЭЦ, из них в котельных отделениях 18,5 % и в машинных залах – 44,4 %. Кроме того, в данных помещениях чаще всего происходит гибель и травмирование людей: в котельных отделениях погибло 66,4 % и 34 % получили травмы различной степени тяжести; в машинных за-

лах погибло 33,6 % и 66 % получили травмы различной степени тяжести.

Авария (пожар) на объекте энергетики, в результате которой прекращается подача тепловой или электрической энергии, является фактором, влекущим нарушение условий жизнедеятельности людей и создающим предпосылки для возникновения ЧС. Соответственно масштаб этой ЧС будет определяться зоной, которую объект энергетики обеспечивает тепловой, либо электрической энергией. Одним из значимых секторов безопасности объектов энергетики является пожарная безопасность, к которой должны предъявляться особые требования в целях обеспечения непрерывности технологического процесса при авариях.

В результате анализа российских и зарубежных источников в сфере обеспечения пожарной и промышленной безопасности установлено, что в такой постановке проблема до настоящего времени не рассматривалась.

Частично этому обстоятельству способствовало относительно недавнее появление в законодательной базе определения организации тушения пожаров как совокупности оперативно-тактических и инженерно-технических мероприятий, направленных на спасение людей и имущества от опасных факторов пожара, ликвидацию пожаров и проведение аварийно-спасательных работ.

Расположение объектов энергетики с точки зрения сосредоточения СиС ПО и сложности обеспечения тушения пожара следует классифицировать следующим образом: разные (малые, средние, крупные) объекты энергетики в крупных ПСГ; крупные объекты энергетики в отрыве от ПСГ; средние объекты энергетики в малых ПСГ; малые объекты энергетики в малых ПСГ (рисунок 2).

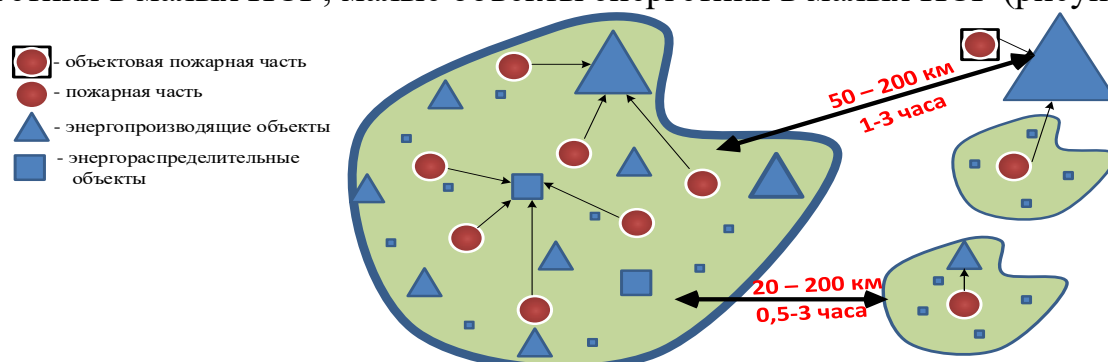


Рисунок 2 – Зависимость организации тушения пожара объекта энергетики от расположения сил пожарно-спасательного гарнизона

Организацию сосредоточения СиС для тушения пожаров объектов энергетики в крупных пожарно-спасательных гарнизонах можно считать сбалансированной, так как ресурсов гарнизона в большинстве случаев бывает достаточно для локализации пожара даже на крупном объекте энергетики и время их сосредоточения находится в допустимых пределах, а техническое оснащение гарнизона позволяет осуществлять тушение пожаров на объектах энергетики в условиях воздействия ОФП и их сопутствующих проявлений. Закономерно, что объекты энергетики в силу своих значительных размеров должны находиться на территории, охраняемой более крупными пожарно-спасательными силами. Однако и из этого общего правила имеются исключения, связанные с удалением значимых для энергетики страны объектов, таких как АЭС и ГЭС, от крупных населенных пунктов.

В связи с этим, наибольшую сложность вызывают проблемы сосредоточения сил на крупных объектах энергетики, расположенных в отрыве от крупных ПСГ, и средних объектах энергетики в малых ПСГ. В этих случаях возникает критичный недостаток СиС ПО в стадии сосредоточения, приводящий к росту последствий пожара. Сложность тушения малых объектов энергетики малыми ПСГ заключается, в основном, в недостаточной готовности сил ПО и персонала объекта в части обеспечения безопасности (допуска к тушению).

Своевременное ТП любого объекта энергетики обеспечивается возможно быстрым его началом. В случае ТП подразделениями ПО – их быстрым прибытием, выходом на позиции подачи ОТВ, а в дальнейшем – непрерывной подачей ОТВ при условии поступательного наращивания СиС ПО до требуемого уровня. Таким образом, обеспечение ТП на объекте энергетики подразумевает взаимосвязанное выполнение нескольких условий (рисунок 3).

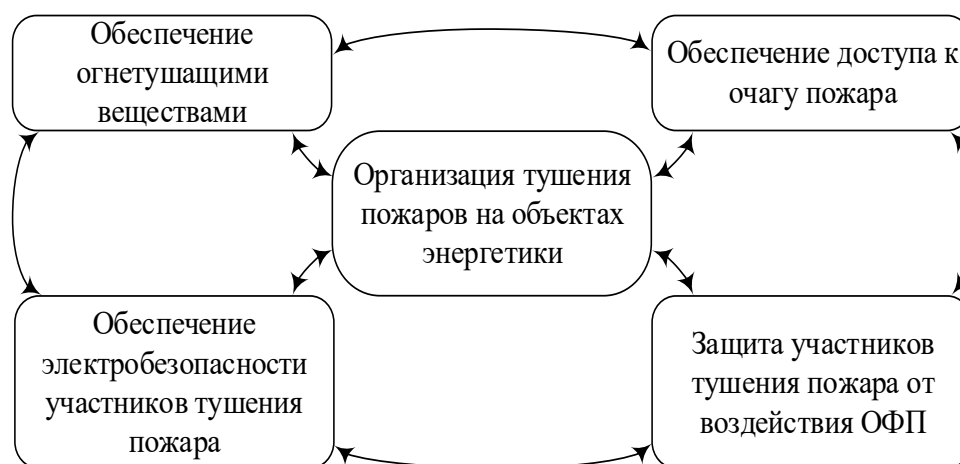


Рисунок 3 – Схема организации тушения пожаров на объектах энергетики

Для оценки достаточности ОТВ при пожарах на объектах энергетики исследованы показатели удельного расхода и фактической интенсивности подачи на пожарах, произошедших с 2011 по 2018 гг. Превышение требуемой интенсивности подачи в 3–7 раз и высокие значения удельного расхода ОТВ (от 500 до 2100 л/м²) свидетельствуют о достаточной обеспеченности объектов энергетики ОТВ и средствами их подачи.

В то же время характер превышения этих показателей говорит о сложности подачи ОТВ непосредственно в зону горения на фоне достаточности ОТВ. Излишнее расходование ОТВ обусловлено в значительной степени скрытостью зоны горения от пожарных за дымом. Анализ работы подразделений ПО при ТП объектов энергетики показал, что ресурс средств защиты пожарных (СИЗ) превосходит длительность пожара, за исключением СИЗ органов дыхания (СИЗОД) изолирующего типа. В остальных аспектах уровень защиты участников ТП объектов энергетики можно считать достаточным.

Весьма показателен тот факт, что на фоне снижения числа пожаров на объектах энергетики возрастает применение пожарными средств защиты, обеспечивающих работу в условиях непригодной для дыхания среды (рисунок 4).

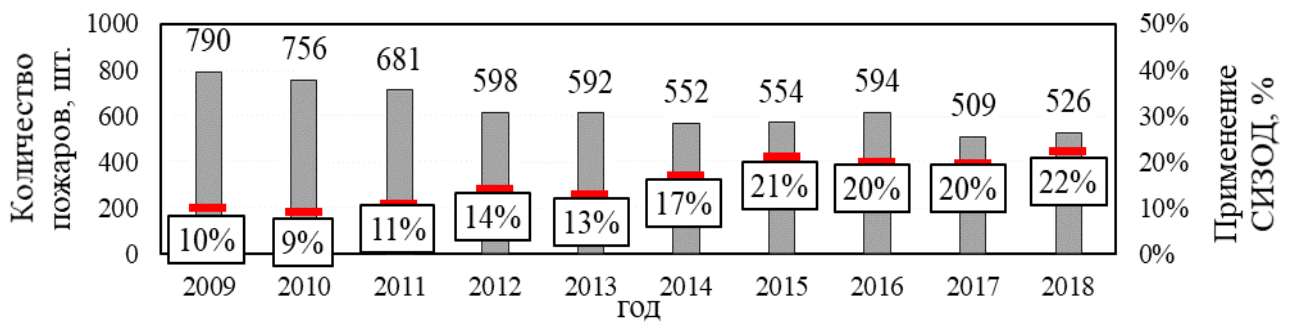


Рисунок 4 – Применение средств защиты органов дыхания (СИЗОД) пожарными при тушении пожаров на объектах энергетики за 2009–2018 гг.
 ■ – пожары; ■ – применение СИЗОД

Это обстоятельство связано с тем, что несмотря на динамику уменьшения количества пожаров, доля сложных пожаров в замкнутых объемах растет.

При анализе пожаров объектов энергетики также уделялось внимание тому, какая горючая нагрузка участвует в распространении пожара и какой материальный ущерб приносит пожар (рисунок 5).

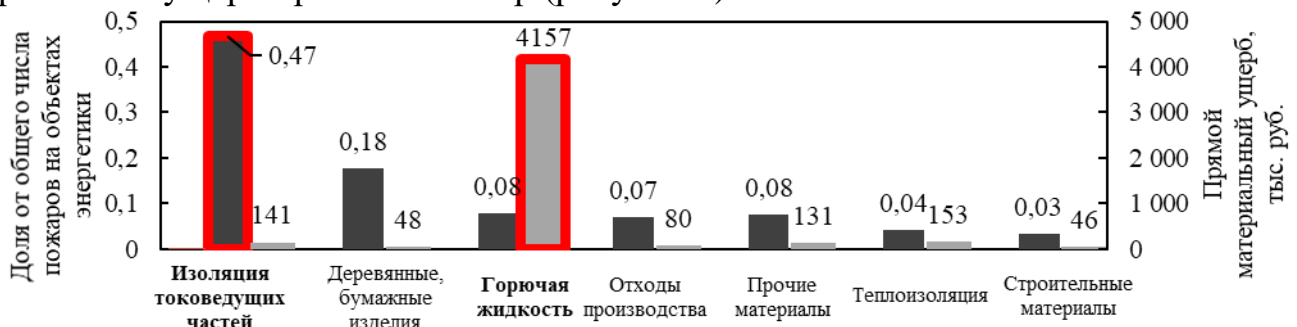


Рисунок 5 – Распределение пожаров по горючим материалам и среднему материальному ущербу от одного пожара с 2009 по 2018 гг.

■ – доля от общего количества пожаров объектов энергетики;
 ■ – средний ущерб от одного пожара объекта энергетики, тыс. руб.

Пожары в замкнутых объемах объектов энергетики с участием характерных видов горючих нагрузок сопровождаются сильным задымлением даже при небольшой площади горения в объеме помещения.

В расчетных методиках принято, что подача требуемого количества ОТВ является достаточным условием дальнейшей ликвидации пожара в тех размерах, которые он принял к моменту локализации. Однако с 2009 года концепция организации тушения пожаров была заменена на временной критерий прибытия подразделений ПО к месту пожара, что безусловно важно, ввиду быстротечности такого явления, как пожар. Несмотря на эти изменения, по-прежнему, одним из важнейших аспектов, предотвращающих развитие возникшего пожара, является обеспечение непрерывного ТП с момента начала подачи ОТВ до локализации. Таким образом, модели, основанные только на принципе обеспечения требуемого расхода ОТВ, не в полной мере отражают возможности ПО по непрерывному ТП, что предполагает необходимость разработки более полной модели, учитывающей поддержание ресурсов ПО на месте пожара в процессе всего времени ТП для обеспечения локализации пожаров объектов энергетики.

Глава 2 Теоретические основы локализации пожаров в зданиях объектов энергетики. Предложен показатель сложности тушения пожара (СТП). Показаны недостатки существующей методики расчета привлечения сил и средств пожарной охраны для тушения пожаров, на основе методов интервальной математики предложен способ расчета сил и средств пожарной охраны с учетом соблюдения условия непрерывной подачи ОТВ. Разработана общая методология локализации пожара объекта энергетики.

В настоящее время не существует сравнительной оценки сложности ТП на различных объектах. В исследовании предложено на основе официальных статистических данных сформировать показатель СТП, который предназначен для понимания места сложности ТП на объектах энергетики в сравнении с другими промышленными объектами. Показатель СТП имеет физический смысл масштаба пожара во времени (произведения площади пожара на время тушения) ($\text{м}^2 \cdot \text{мин}$), скорректированный коэффициентами:

$$\text{СТП} = \frac{K_{\text{сл}} \cdot N_{\text{ТЕ}} \cdot S_{\text{п}} \cdot t_{\text{ОГ}} \cdot \Delta I}{N_{\text{СТВ}}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{сл}}$ – коэффициент сложности обстановки; $N_{\text{ТЕ}}$ – общее количество первичных тактических единиц, шт.; $S_{\text{п}}$ – площадь пожара, м^2 ; $t_{\text{ОГ}}$ – время открытого горения, мин; ΔI – превышение фактической интенсивности над нормативной; $N_{\text{СТВ}}$ – общее количество приборов подачи ОТВ (стволов), шт.

Коэффициент сложности обстановки состоит из коэффициентов степени огнестойкости ($K_{\text{СО}}$), этажности ($K_{\text{эт}}$) и коэффициента последствий пожара ($K_{\text{посл}}$):

$$K_{\text{сл}} = K_{\text{СО}} \cdot K_{\text{эт}} \cdot K_{\text{посл}}. \quad (2)$$

Коэффициенты этажности и степени огнестойкости увеличиваются с повышением опасности объекта пожара для участников тушения пожара, что связано с меньшей доступностью зоны горения для подачи ОТВ. Коэффициент последствий пожара учитывает необходимость задействования сил и средств на проведение спасательных и эвакуационных работ.

Результаты расчетов, выполненных при исследовании показателя СТП на объектах энергетики, показали, что наибольшую сложность тушения вызывают пожары внутри помещений энергопроизводящих предприятий. Анализ полученных значений показателя СТП на предприятиях электроэнергетики при тушении пожаров с использованием СИЗОД в сравнении с другими типами предприятий (рисунок б), показывает, что пожары на объектах энергетики являются одними из наиболее сложных в тушении.

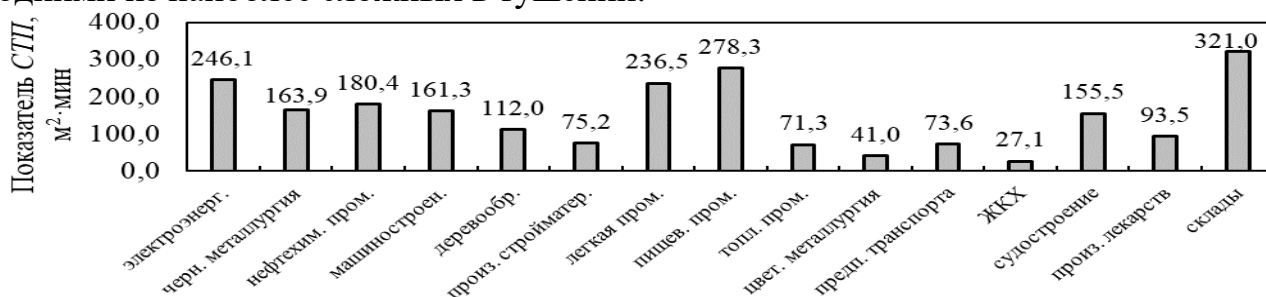


Рисунок б – Показатель СТП с использованием СИЗОД для различных типов производственных и складских предприятий за 2011–2018 гг.

В настоящее время расчет необходимых СиС ПО направлен на определение параметров подачи ОТВ, что, несомненно, является определяющим фактором в ЛП. Однако сложившийся порядок расчета СиС, например, при составлении плана тушения пожара (ПТП) не учитывает такого фактора, как непрерывность подачи ОТВ, которую лимитирует продолжительность работы звеньев ГДЗС (t_p) в непригодной для дыхания среде, обусловленную временем защитного действия СИЗОД. Как правило, внимание уделяется введению сил (стволов), а далее считается, что звено ГДЗС обеспечивает ТП на порученном участке, при этом замена производится из резерва СиС, создаваемого на пожаре. Действительно, если, за t_0 принять ресурс работы СИЗОД в зависимости от его типа, то величина t_p может быть оценена из выражения:

$$t_p = t_0 - t_1 - t_2, \quad (3)$$

где t_1, t_2 – соответственно время движения звена ГДЗС на позицию подачи ОТВ и время возврата звена с учетом резерва дыхательной смеси.

На практике величины t_1 и t_2 могут оказаться весьма заметными по сравнению с временем t_p . Поэтому отсутствие расчета времени работы звеньев ГДЗС является одной из причин недостаточного привлечения СиС ПО и повышенной продолжительности ТП с сопутствующими последствиями.

В этой связи учет ограниченной продолжительности работы (t_p) звеньев ГДЗС, осуществляющих тушение, позволит либо скорректировать совмещенный график с учетом периодического снижения величины Q_{ϕ} ввиду отхода звеньев ГДЗС с позиций по мере расходования ресурса СИЗОД, либо предусмотреть в дополнение к установленному документами резерву сосредоточение такого числа звеньев ГДЗС, которое обеспечит смену работающих звеньев на позиции подачи ОТВ, чтобы величина Q_{ϕ} не снижалась, обеспечивая выполнение условия локализации пожара. На рисунке 7 показан сравнительный прогноз хода ТП без учета и с учетом ресурса СИЗОД.

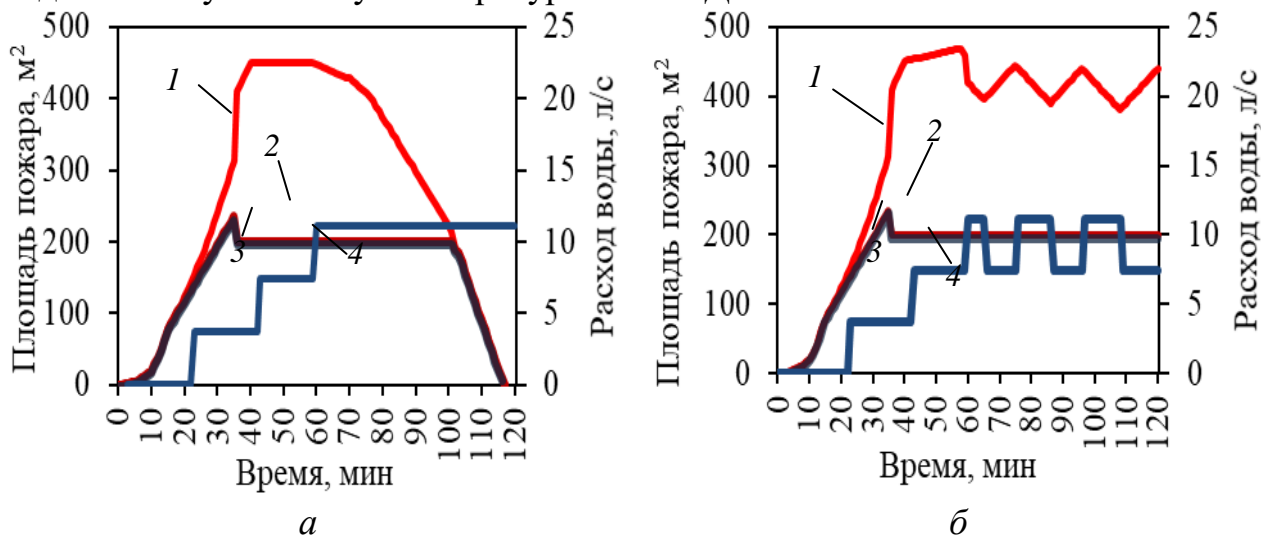


Рисунок 7 – Характерный вид совмещенного графика тушения пожара в помещении размерами 10×20 м тремя звеньями ГДЗС:

- а) без учета ресурса работы в СИЗОД; б) с учетом ресурса работы в СИЗОД не более 40 мин.; 1 – площадь пожара; 2 – площадь тушения пожара; 3 – требуемый расход воды; 4 – фактический расход воды

Процесс работы звена ГДЗС на пожаре подразделяется на четыре фазы. Длительность первой фазы (t_1) определяется минимальным ресурсом дыхательного аппарата (ДА) одного из газодымозащитников в звене с учетом возможности выхода из зоны задымления. Длительность второй фазы (t_2) обуславливается временем выхода из зоны задымления и прибытием к месту восстановления готовности (пожарному автомобилю, контрольно-пропускному пункту, автомобилю-базе ГДЗС, пожарной компрессорной станции). Длительность третьей фазы (t_3) – время замены баллонов или закачки в них воздуха. Длительность четвертой фазы (t_4) – время возвращения звена ГДЗС на позицию подачи ОТВ. Сумма времен $t_1+t_2+t_3+t_4$ является длительностью цикла работы звена ГДЗС $t_{ц}$. Минимально необходимое число звеньев ГДЗС для обеспечения непрерывной работы на позициях подачи ОТВ можно оценить из выражения:

$$n = 1 + Ц\left(\frac{t_{ц}}{t_1}\right) = 2 + Ц\left(\frac{t_2+t_3+t_4}{t_1}\right), \quad (4)$$

где $Ц(x)$ – целая часть числа x (например, $Ц(2,3) = 2$, $Ц(3,8) = 3$ и т.п.).

В действительности времена t_1, t_2, t_3, t_4 являются недетерминированными величинами. Время работы t_1 зависит от многих факторов – интенсивности действий пожарного, его веса и др. Времена t_2 и t_4 зависят от расстояния до пункта восстановления готовности, этажности расположения позиции подачи ОТВ, резерва на возврат. Время t_3 обуславливается техническими возможностями заправки баллонов, а также отдыха газодымозащитников. Учесть все это при определении величины n представляется возможным с использованием интервального анализа. Идеей действий с интервальными величинами $[x] = [x^{\min}, x^{\max}]$ является то, что в результате каждого действия также получается интервальная величина $[y]=f([x_1],[x_2]...)$ границы которой определяются из выражения:

$$\begin{pmatrix} y^{\max} \\ y^{\min} \end{pmatrix} = a_1 \pm \sqrt{3(a_2 - a_1^2)}, \quad (5)$$

где a_1 и a_2 – начальные моменты.

По аналогии с выражением (4), необходимое число звеньев ГДЗС можем получить из выражения:

$$n = 2 + Ц(y^{\max}), \quad (6)$$

где y^{\max} – правая граница интервальной величины $[y]=([t_2]+[t_3]+[t_4])/[t_1]$.

Эта модель может быть применена при учете иных причин, вызывающих перерывы в подаче ОТВ, например, окончание его запаса, повреждение линий подачи, периодическое оставление пожарными позиций подачи при работе в условиях высоких или низких температур и др.

Для решения поставленной задачи в настоящей работе использована математическая модель неопределенности систем в виде полиинтервалов совместно с математическим аппаратом, позволяющим выполнять различные операции над полиинтервалами. Известно, что интервальная математика строится на основе понятия интервала, рассматриваемого как множество всех возможных значений не полностью определенной величины \tilde{a} , задаваемой только ее нижней (a_1) и верхней (a_2) границами. Соответственно этому величина \tilde{a} запи-

сывается в форме ограниченного интервала неопределенности вида:

$$\tilde{a} = [a_1, a_2] = \{a \mid a_1 \leq a \leq a_2\}. \quad (7)$$

Здесь предполагается, что неизвестное «истинное» значение неопределенной величины \tilde{a} достоверно лежит в пределах интервала $[a_1, a_2]$, не выходя за его границы (a_1) и (a_2). Причем все значения в пределах этого интервала считаются «равновозможными». Над интервалами вида (7) вводятся алгебраические операции, аналогичные соответствующим операциям над числами. Для этого используется теоретико-множественная конструкция:

$$\tilde{a} \circ \tilde{b} = \{a \bullet b \mid a \in \tilde{a}, b \in \tilde{b}\}, \circ \tilde{a} \{ \bullet a \mid a \in \tilde{a} \}, \quad (8)$$

то есть любая операция над интервалами \circ определяется на основе соответствующей операции над точными величинами \bullet при условии, что конкретные значения этих величин приобретают все возможные значения из соответствующих интервалов. Ограничение операций с полиинтервалами заключается в том, что полиинтервалы, над которыми производятся математические операции, должны содержать интервалы с одинаковым количеством переменных. Учитывая, что систему локализации пожаров объектов энергетики можно представить в виде массива данных, составляющих ряд интервалов со случайным распределением внутри них количественных данных, то применение полиинтервального исчисления наиболее близко к рассматриваемым в исследовании проблемам.

Постановка цели выезда подразделений ПО для локализации пожара объекта энергетики в тех размерах, которые не приведут к остановке технологического процесса выработки энергии, также будет влиять на расчетный сценарий развития пожара, который сможет привести к остановке процесса выработки энергии, и учету этого сценария при проектировании объектового подразделения ПО. Для учета этого фактора в существующей системе организации ТП предложена дополнительная цель выезда дежурного караула на пожар объекта энергетики, либо другого объекта, остановка технологического процесса на котором может повлиять на благополучие населения и организаций за пределами объекта (рисунок 8).

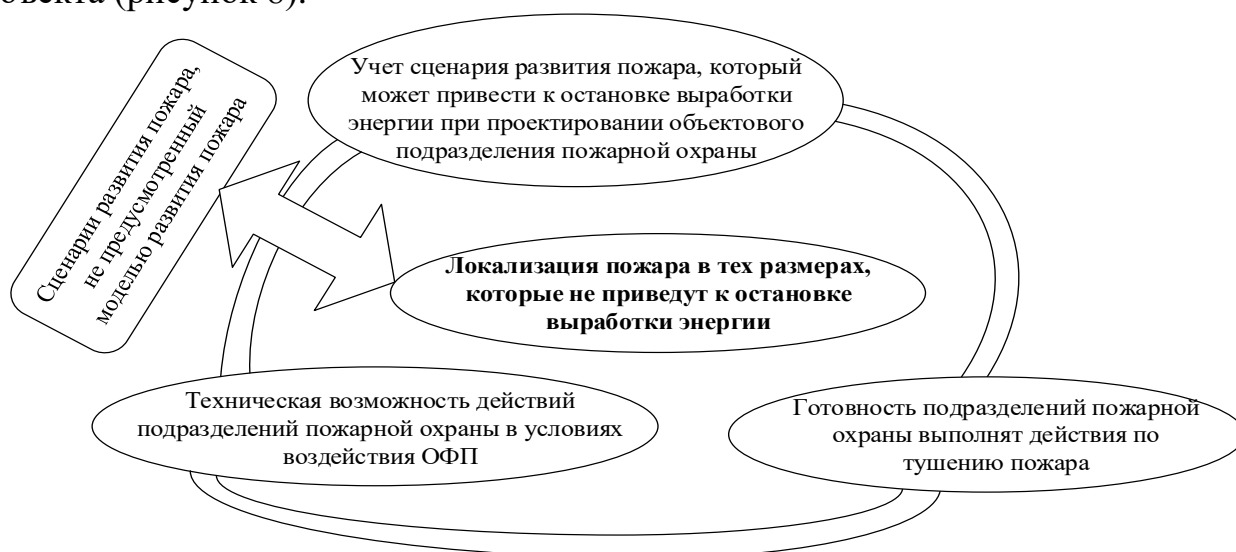


Рисунок 8 – Общий подход к организации тушения пожара объекта энергетики

В порядке выполнения целей выезда дежурного караула на пожар логично и целесообразно предлагаемую цель разместить между второй и третьей целями, изложенными в СП 11.13130.2009 «Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения».

Как было указано ранее, одной из проблем ЛП объектов энергетики является недостаток сил, осуществляющих тушение пожаров, в первую очередь звеньев ГДЗС. Поэтому одним из путей ее решения является повышение тактических возможностей подразделений ПО, позволяющее снизить число участников тушения пожаров. Основным принципом повышения тактико-технических возможностей пожарной техники по ЛП объектов энергетики избраны средства предотвращения распространения пожара и последующего его прекращения без необходимости входа участников ТП в помещение пожара и работы в нем в условиях воздействия ОФП. Одним из важнейших элементов в решении поставленной проблемы является установление баланса сил и средств, способных осуществлять тушение пожара объекта энергетики с заявленной целью. Таким образом, общая методология исследования складывается в виде тактико-технического принципа формирования СиС ПО, способных осуществить локализацию возникающего пожара на объекте энергетики с учетом сохранения его работоспособности, включающего:

- применение способов и совершенствование средств защиты персонала объектов и пожарных от воздействия ОФП и их сопутствующих проявлений;
- обеспечение готовности участников ТП объектов энергетики, а также их оперативного взаимодействия;
- применение способов и средств, повышающих тактические возможности персонала объектов и пожарных по ЛП объектов энергетики с учетом специфики их развития;
- обоснование состава сил и комплекса средств, способных с учетом дислокации подразделений ПО осуществить локализацию и ликвидацию возникающего пожара на объекте энергетики с целью сохранения его работоспособности.

Глава 3 Моделирование способов и совершенствование средств защиты участников тушения пожаров объектов энергетики от опасных факторов пожара. *Предложены и обоснованы способы снижения воздействия ОФП на участников тушения пожаров объектов энергетики, представлены результаты исследования возможности улучшения основных параметров средств защиты участников тушения пожаров объектов энергетики.*

Как показано ранее, на успех тушения пожаров напрямую влияет ВЗД СИЗОД. Поэтому в исследовании особое внимание уделено способам его повышения. В области организации работ по тушению пожаров объектов энергетики в НДС не в полной мере решены вопросы применения дыхательных аппаратов сжатого воздуха для пожарных. Основным их недостатком является малое время защитного действия при достаточно большой массе, что является одной из проблем обеспечения непрерывного и своевременного ТП объектов энергетики. Повысить его могут новые способы создания искусственной атмосферы для дыхания, либо повышение удельного времени защитного действия,

которое может быть достигнуто за счет увеличения запаса или более экономного расходования дыхательной смеси.

В результате исследования изготовлена и прошла сертификацию в системе аварийно-спасательных служб МЧС России модель дыхательного аппарата ИВА-Р20 (рисунок 9) со временем защитного действия 1,5 и 2 ч с массой до 12 и 16 кг соответственно.



Рисунок 9 – Общий вид изолирующего воздушного дыхательного аппарата ИВА-Р20

Запас воздуха в таком аппарате хранится в кассете из тонкостенных сферических баллонов, соединенных между собой. Кассета баллонов помещается в корпус аналогичный по форме и габаритам корпусу ДАСК двухчасового времени защитного действия типа КИП-8. Использование подобной компоновки позволяет снизить затраты на оснащение СИЗОД на 20–30 % при обеспечении каждого газодымозащитника индивидуальным ДА.

Для рассмотрения возможности экономии ресурса применяемых для ТП объектов энергетики ДА проведено исследование особенностей функционирования ДАСК. Моделирование легочно-автоматического способа кислородопитания позволило обосновать рост удельного ВЗД на 18–20 % при основной расчетной нагрузке по сравнению с комбинированной подачей кислорода. В режиме отдыха удельное ВЗД увеличивается в 2,4–2,5 раза, при увеличении дыхательной нагрузки выше средней тяжести расход кислорода аналогичен ДАСК с комбинированной подачей кислорода. Также были проведены исследования в области увеличения ВЗД ДАСВ, при этом особое внимание уделено соотношению массы и ВЗД. Для увеличения удельного ВЗД ДАСВ предложено использовать часть выдыхаемого воздуха из анатомического мертвого пространства дыхательных путей человека и подмасочного пространства, не принимавшую участие в легочном газообмене, пригодную для дыхания по газовому составу. Устройства для реализации предложенного способа были разработаны на базе существующих моделей масок (рисунок 10).

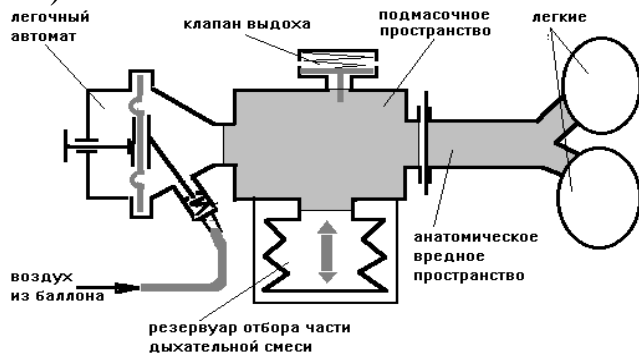


Рисунок 10 – Схема устройства для использования части дыхательного воздуха, не участвующего в легочном газообмене

Результаты экспериментальной оценки увеличения ресурса СИЗОД для ТП объектов энергетики представлены на рисунке 11.



Рисунок 11– Зависимости времени защитного действия при использовании части дыхательного воздуха, не участвующего в легочном газообмене (ИВНЛГ) от дыхательной нагрузки в сравнении с временем защитного действия без ИВНЛГ:
 ■ – в режиме отдыха без ИВНЛГ; ■ – в режиме отдыха с ИВНЛГ;
 ■ – при средней нагрузке без ИВНЛГ; ■ – при средней нагрузке с ИВНЛГ

Экономия дыхательной смеси составила $22 \div 24\%$ в режиме нагрузки средней тяжести (легочная вентиляция $29\text{--}35$ л/мин) и $105 \div 120\%$ в режиме отдыха (легочная вентиляция $13\text{--}15$ л/мин).

Определяющим принципом выполнения работ по ТП внутри зданий в условиях НДС является возможность бесперебойного обеспечения пожарных пригодным для дыхания воздухом. Поэтому важным вопросом является разработка комплекса технических средств, способных обеспечить работу в НДС при ТП объектов энергетики на протяжении всего периода пожара. При этом требуется учитывать возможность задействования максимального числа пожарных при привлечении личного состава по установленному рангу пожара.

Существующие специальные пожарные автомобили имеют достаточное оснащение для выполнения определенного круга задач по обеспечению работ в НДС, но не позволяют решать их комплексно. Поэтому была проведена транспортно-энергетическая унификация подобной техники с сохранением широких возможностей изменения комплектации в зависимости от местных условий. Это позволило разработать прототип многофункционального технического комплекса обеспечения работ в непригодной для дыхания среде при пожарах и авариях в энергетической отрасли АДК-100-2/400 (далее – АДК) (рисунок 12).

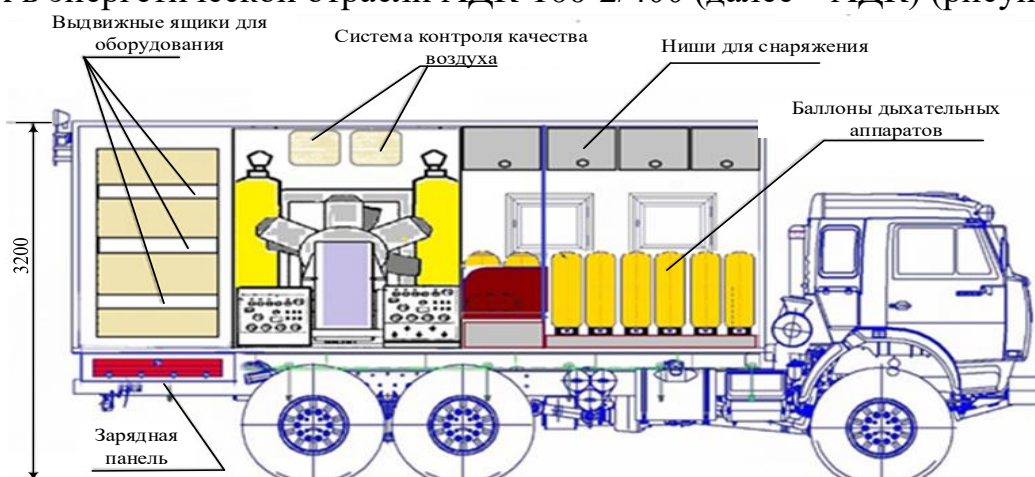


Рисунок 12 – Общий вид прототипа АДК-100-2/400

Особенностью АДК, отличающей его от существующих специальных автомобилей, обеспечивающих деятельность газодымозащитной службы, является сочетание в одном автомобиле возможности выполнения основных функций обеспечения работ в НДС. Это достигается за счет сочетания на одном шасси мощной электросиловой установки, производительного воздушного компрессора, запаса сжатого воздуха, системы подготовки состава окружающего воздуха и постоянного контроля качества воздуха, заправляемого в баллоны дыхательных аппаратов, а также создания условий для персонала, обеспечивающего функционирование систем автомобиля.

Реализация концепции АДК на практике позволит повысить возможности тушения развившихся пожаров в условиях задымления и ликвидации аварий на объектах энергетики.

Глава 4 Основы локализации пожаров в зданиях объектов энергетики в начальной стадии их развития. *Произведено прогнозное моделирование и разработаны основы жизнеобеспечения персонала объекта энергетики при воздействии ОФП от момента возникновения пожара до начала действий подразделений пожарной охраны, ускорения начала действий подразделений пожарной охраны. Предложены методы обеспечения готовности персонала объектов энергетики и пожарных к действиям в условиях воздействия ОФП.*

В тех случаях, когда система обеспечения пожарной безопасности объекта защиты не выполнила полностью свои функции, то защита людей и имущества от воздействия ОФП и (или) ограничение последствий их воздействия обеспечивается применением первичных средств пожаротушения и (или) организацией деятельности подразделений ПО по ТП. Таким образом, сложившаяся система жизнеобеспечения человека при пожаре подразумевает совокупность своевременной эвакуации людей в безопасные зоны с последующим прибытием пожарных подразделений для ТП. При этом следует учитывать специфику работы объектов энергетики, на которых даже в случае пожара часть персонала обязана выполнять свои функции в аварийном режиме. Для этой цели была произведена оценка возможностей действий персонала по ТП в помещениях АЭС и произведено моделирование тушения очага пожара первичными средствами пожаротушения.

В исследовании были проведены расчеты динамики ОФП с использованием программного комплекса «*Fire Dynamics Simulator*» (FDS) (Version 6). Расчетно-аналитические исследования динамики пожаров для типичных помещений, зданий и технологических установок АЭС показали критические времена по достижению ОФП. Основным ОФП, при котором персонал не сможет продолжить работу в помещениях и зданиях АЭС, является потеря видимости. Так, на резервном пункте управления (РПУ) критический временной показатель составит ~ 41 с, в помещении блочного пункта управления (БПУ) ~ 59 с, в реакторном здании ~ 76 с. Из представленных данных можно сделать вывод о необходимости срочной эвакуации персонала, не имеющего средств защиты от ОФП. Следующая группа ОФП объединяет показатели: по пониженному содержанию кислорода (O_2) критический временной показатель на РПУ составит ~ 116 с, БПУ ~ 169 с, в реакторном здании ~ 290 с; по повышенному содержанию CO – на РПУ составит ~ 144 с, БПУ ~ 215 с, в реакторном здании ~ 262 с; по повышенному содержанию HCl –

на РПУ составит ~ 67 с, БПУ ~ 97 с, в реакторном здании ~ 124 с. Персонал станции, обеспеченный фильтрующими средствами защиты органов дыхания, также не сможет работать в условиях воздействия данных ОФП и должен покинуть помещения (здания) АЭС. В данных условиях осуществлять работу сможет персонал, обеспеченный изолирующими СИЗОД. По повышенной температуре критический показатель на РПУ составит ~ 101 с, БПУ ~ 144 с, в реакторном здании ~ 157 с. В этих условиях персонал может осуществлять работу только в средствах защиты от повышенных температур.

Были проведены исследования на пяти АЭС в европейской части России по соответствию степени защиты оперативного персонала характеру распространения ОФП, на основе которых разработан комплект защиты персонала и проведена апробация его использования. Разработана соответствующая расчетная модель, позволяющая определить возможность и надежность выполнения оперативным персоналом АЭС действий в начальной стадии пожара в условиях воздействия ОФП. На основе исследования динамики развития ОФП в типовых помещениях АЭС разработаны модели действий оперативного персонала. Изучение процесса действий оперативного персонала показало, что их временные характеристики являются, как правило, вероятностными, нечеткими или интервальными. Моделирование таких процессов предусматривает совершение алгебраических действий с недетерминированными величинами. Применительно к решаемой задаче рассмотрены вопросы действий оперативного персонала АЭС как модели с интервальными величинами. Модель предусматривает, что:

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:

$$\begin{bmatrix} y_m \\ y_6 \end{bmatrix} = \alpha_1 \mp \sqrt{3(\alpha_2 - \alpha_1^2)}, \quad (9)$$

где α_1, α_2 – параметры (начальные моменты).

При алгебраических действиях над n интервальными числами $[x_1], [x_2] \dots [x_n]$ сохраняются правила аддитивности и коммутативности.

В частном случае, когда имеет место «цепочка» сложений, можно использовать следующее правило: математическое ожидание y_{cp} результирующей интервальной величины $[y]$ равно сумме математических ожиданий суммируемых чисел, а дисперсия D_y – сумме дисперсии:

$$\begin{bmatrix} y_m \\ y_6 \end{bmatrix} = 0,5 \left[\sum_{i=1}^n (x_{im} + x_{i6}) \mp \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{i6} - x_{im})^2} \right]. \quad (10)$$

Так, при оценке суммарного времени действий оперативного персонала при пожаре на щите управления АЭС исходим из следующих условий, что эти действия состоят из шести этапов ($n = 6$), а продолжительность каждого этапа – интервальная величина $[t_{im}, t_{i6}]$. По результатам расчетов получена интервальная оценка общего времени действий персонала при пожаре на щите управления АЭС: $[y] = [13,1; 20,9]$ мин. При оценке суммарного времени действий опера-

тивного персонала при пожаре в машинном зале АЭС исходим из условий, что эти действия состоят из восьми этапов ($n = 8$), а продолжительность каждого этапа – также интервальная величина $[t_{iм}, t_{iб}]$. В результате расчетов получена интервальная оценка общего времени действий оперативного персонала при пожаре в машинном зале атомной электростанции: $[y] = [18,0; 27,0]$ мин.

С использованием интервального анализа становится возможным оценивать временные характеристики действий оперативного персонала при пожарах на электростанциях. Данная концепция нашла воплощение в технической документации АО «Концерн Росэнергоатом» в виде инструкции «Организация защиты оперативного персонала атомных станций при пожарах (авариях) в условиях непригодной для дыхания среды. Инструкция» (И 1.3.2.15.1111-2016).

Важным аспектом реализации возможности расширения действий оперативного персонала АЭС является подготовка к действиям в условиях воздействия ОФП. Эта функция возложена на учебно-тренировочные центры АЭС – готовить должностных лиц станции к действиям при возникновении пожаров в помещениях АЭС, часть из которых может выполняться совместно с пожарными. Данный механизм отражен в разработанных в ходе исследования «Методических рекомендациях 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).

Для обеспечения локализации пожара в начальной стадии наряду с действиями персонала важным является возможно быстрое прибытие и развертывание СиС ПО. Для этого было проведено прогнозирование роста масштаба пожара от сосредоточения пожарных подразделений, связанное с режимом допуска на объект энергетики. Проведенные расчеты показали прямую зависимость роста площади пожара при увеличении времени свободного развития из-за задержки прибытия пожарных подразделений (рисунок 13).

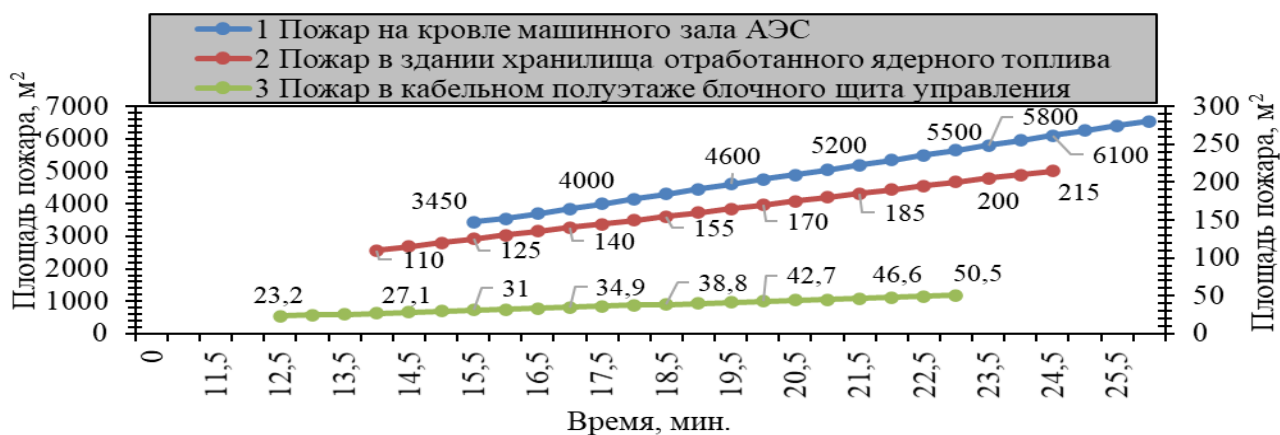


Рисунок 13 – Графики зависимости площади различных сценариев пожара на АЭС от времени свободного развития пожара

Осуществлено экспериментальное исследование и предложен комплекс мер, направленных на сокращение времени пропуска пожарных подразделений по прибытии на пожар. Масштабы пожара на АЭС с учетом взаимодействия с Федеральной службой войск национальной гвардии при пропуске пожарных подразделений в особом порядке и без него отличаются почти вдвое.

Глава 5 Разработка методов и средств повышения тактико-технических возможностей мобильных средств пожаротушения для локализации развившихся пожаров в зданиях объектов энергетики. *Разработаны теоретические основы повышения тактико-технических возможностей пожарных по обеспечению ЛП объектов энергетики. Предложены способы и средства улучшения видимости в дыму, исследована возможность ЛП в помещениях объектов энергетики объемным способом от мобильных средств пожаротушения.*

На объектах энергетики наиболее сложными пожарами являются те, которые происходят в зданиях и помещениях. Закономерно, что стационарными средствами не может быть обеспечено объемное тушение всех или большинства помещений объекта энергетики по технико-экономическим соображениям, поэтому обеспечение пожарных подразделений средствами объемного тушения может повысить их тактико-технические возможности. Для этого проведены аналитические и экспериментальные исследования объемного способа пожаротушения, реализуемого при помощи технологии получения водной среды в метастабильном фазовом состоянии (ВСМФС). С целью теоретического обоснования ее применимости осуществлено исследование механизма подавления пламенного горения различных материалов водной средой. Наибольшее внимание уделялось исследованию подавления горения горючих жидкостей, как материалов, создающих наибольшие сложности в тушении на объектах энергетики, а среди методов прекращения горения – охлаждению поверхности.

При тушении горючих жидкостей основную роль играет механизм охлаждения их поверхности. Поэтому механизм тушения можно представить следующим образом: капли воды, испаряясь на поверхности жидкости, отбирают тепло, тем самым снижая температуру поверхности жидкости и, как следствие, уменьшая количество паров, поступающих в зону горения. В свою очередь, уменьшение концентрации горючих паров вызовет уменьшение скорости реакции, тепловыделения и температуры пламени. Таким образом, обеспечение достаточного отвода тепла от поверхности жидкости приводит к прекращению горения при понижении температуры поверхности до некоторой величины $T_{п}$. Описать тепловое состояние жидкости возможно с помощью уравнения теплопроводности:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + ct \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (11)$$

где c – теплоемкость жидкости; ρ – плотность жидкости; λ – теплопроводность жидкости; T – температура; x – координата; τ – время; t – массовая скорость выгорания жидкости.

В уравнении (11) теплофизические характеристики и скорость выгорания приняты постоянными и равными средним значениям, лежащим между температурой кипения и температурой поверхности жидкости, соответствующей затуханию пламени. В направлениях y, z средю можно считать бесконечной, что соответствует реальным условиям тушения проливов жидкостей.

Начальные и граничные условия принимаются:

$$\tau = 0, T = T(x); \quad (12)$$

$$x = \infty, T = T_{\infty}, \quad (13)$$

где T_{∞} – температура жидкости при $x = \infty$.

Другое граничное условие выводится исходя из баланса тепловых потоков на поверхности жидкости:

$$x = 0, -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = q - mH - Jr, \quad (14)$$

где q – тепловой поток, передаваемый пламенем к поверхности жидкости; H – теплота испарения горючей жидкости; J – интенсивность орошения или масса воды, подаваемая на единицу площади поверхности топлива в единицу времени; r – теплота испарения воды.

В уравнении (14) тепловой поток (q) является неизвестной величиной. Для его определения в работе ввели допущение, что поток (q) не меняется от момента начала тушения до его окончания. Данное допущение не является грубым, так как температура пламени незначительно отличается от температуры затухания. Следовательно, величину q можно определить как:

$$q = m[H + c(T_k - T_{\infty})], \quad (15)$$

где T_k – температура кипения горючей жидкости.

За сопоставительную модель был взят процесс тушения распыленной водой. Аналитика процесса тушения различных горючих жидкостей распыленной водой включает уравнение времени тушения:

$$t = -\frac{4}{3} \left[\frac{\theta_s}{\alpha_0} + \ln \left(1 - \frac{\theta_s}{\alpha_0} \right) \right], \quad (16)$$

где α_0 – безразмерная интенсивность орошения ($\alpha_0 = Jr/[cm(T_k - T_0)]$); θ_s – температура поверхности, соответствующая затуханию пламени.

Приведенными теоретическими выводами показана сама возможность тушения горючих жидкостей обычной водой за счет охлаждающего эффекта. За счет малого размера капли (0,01–10 мкм) площадь поверхности соприкосновения из 1 кг воды будет от 300 до 30000 м². Это обстоятельство позволяет предположить значительный охлаждающий эффект, не достижимый другими известными способами. В связи с этим, следующим этапом исследований стала оценка состава парокapельной среды, которая может дать представление о количественном соотношении различных по размеру капель и паровой фазы.

Для теоретического анализа процесса истечения перегретой воды было произведено гидродинамическое моделирование процесса истечения воды через сопло Лаваля, которое сопровождается интенсивными фазовыми переходами, что необходимо учитывать при построении расчетной модели. В результате моделирования были определены основные характеристики потока: массовые доли пара и воды, скорость, давление и реактивное усилие струи на срезе сопла. Задача рассмотрена в трехмерной постановке. На рисунке 14 схематично отображена расчетная схема и граничные условия: на входе сопла задается давление, равное 2 МПа, на выходе – атмосферное давление, на остальных поверхностях – условие прилипания к твердой поверхности.

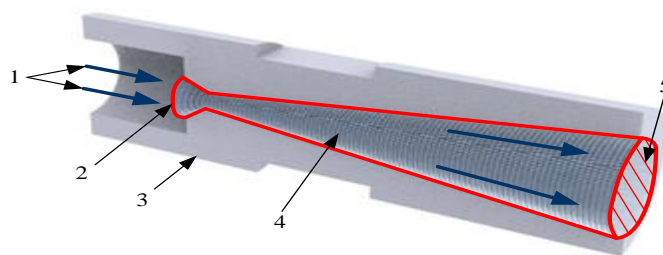


Рисунок 14 – Расчетная модель в сечении и граничные условия:
 1 – направление потока воды; 2 – входное сечение; 3 – корпус сопла Лавалья;
 4 – область моделирования; 5 – выходное сечение сопла Лавалья

Моделирование проводилось для различных значений температуры воды в диапазоне 160–200 °С, подаваемой через сопло Лавалья при помощи программного CFD-комплекса ANSYS CFX. Результаты моделирования для порогов температур 160, 180 и 200 градусов Цельсия представлены для распределения массовой доли воды (рисунки 15–17).

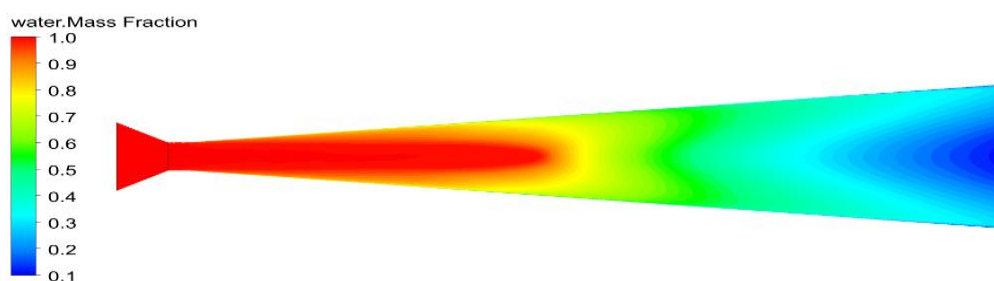


Рисунок 15 – Распределение массовой доли воды вдоль центрального сечения сопла при истечении воды температурой 160 °С

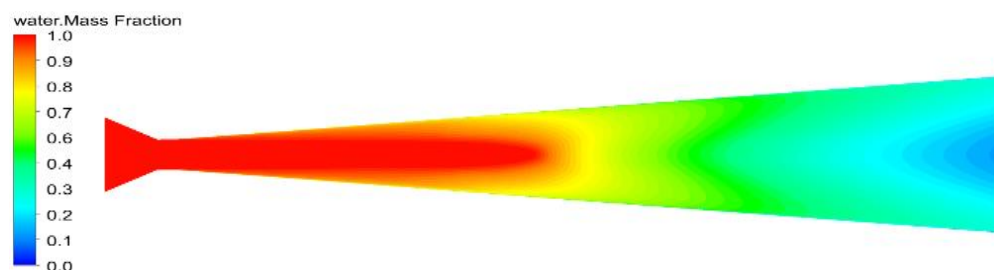


Рисунок 16 – Распределение массовой доли воды вдоль центрального сечения сопла при истечении воды температурой 180 °С

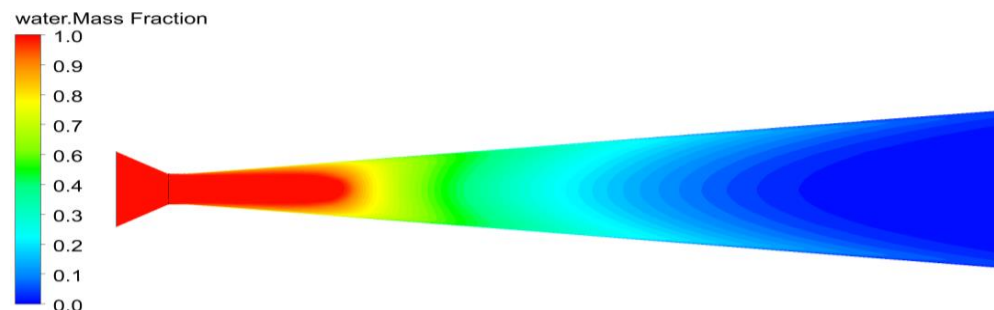


Рисунок 17 – Распределение массовой доли воды вдоль центрального сечения сопла при истечении воды температурой 200 °С

Полученные показатели массовой доли воды в парок капельной среде в совокупности с размерами капель позволяют сформировать представление об охлаждающей поверхности в зависимости от режима подачи недогретой во-

ды, что позволило предположить возможность использования парокапельной среды в метастабильном фазовом состоянии как средства объемного тушения пожаров объектов энергетики. Реализация объемного тушения дает важное преимущество – исключается необходимость нахождения пожарных в помещении пожара. Тем не менее, для достижения помещения пожара необходимо обеспечить продвижение звеньев ГДЗС с приемлемым уровнем видимости. Для решения этой проблемы исследовались способы улучшения видимости. В настоящее время все методы борьбы с продуктами горения разбиты на две группы – дымоудаление и дымоосаждение.

У способов борьбы с дымом, основанных на дымоудалении, можно выделить три основных недостатка, которые и ограничивают их применение в сфере ТП. Это разбавление задымленного воздуха «чистым», который может повлечь более интенсивное горение, особенно при режиме пожара, контролируемого вентиляцией; сложность удаления дыма из помещений, ограждающие конструкции которого не выходят непосредственно наружу; распространение дыма по другим помещениям. В связи с этим в области обеспечения ТП имеются проработки способов очистки воздуха от продуктов горения путем выведения из взвешенного состояния дымовых частиц, получивших название дымоосаждение. Анализ подобных работ позволил разработать способы осаждения дыма, основанные на методе мокрой очистки при помощи технологии получения ВСМФС. Данная технология позволяет получить капли воды, сопоставимые с размерами частиц дыма. Известно, что капли ВСМФС, образовавшиеся при взрывном вскипании, бимодально распределены: первая группа капель принимает размеры 0,1–0,3 мкм, а вторая составляет 6–8 мкм. Предложено и обосновано техническое решение, основанное на использовании технологии получения ВСМФС.

Оценка применимости разработанного устройства осаждения аэрозолей (УОА) с помощью ВСМФС, проведена по двум критериям: мобильность и степень осаждения дыма. Соответствие требованию мобильности – это возможность переноски устройства силами одного звена ГДЗС, что достигнуто массогабаритными параметрами УОА. Эффективность осаждения дыма была оценена по изменению видимости при различных параметрах подаваемой воды измерением уровня фототока. В случае работы устройства с параметрами воды $P = 2 \pm 0,1$ МПа; $T = 17 \pm 3$ °С световой поток, прошедший через 1 метр продуктов горения, ослабился в 40 раз, а при работе с параметрами воды $P = 2 \pm 0,1$ МПа; $T = 180 \pm 5$ °С – в 17,5 раза, что соответствует более чем двукратному дымоосаждению. Таким образом, применение УОА, даже учитывая ослабление света от парокапельной среды, увеличивает светопропускаемость среды до уровня, позволяющего пожарным ориентироваться в помещении.

Следующим реализованным решением использования ВСМФС явилась разработка способа поэтапного осаждения дыма, который состоит из смачивания частиц дыма ВСМФС (слипание дымовых частиц – укрупнение) с последующим охлаждением среды струями холодной воды, которое приводит к быстрому осаждению укрупненных капель, улучшению видимости и снижению токсичности. Проведенный эксперимент показал возможность применения

такого способа в практической деятельности. Так, четырехколенный лабиринт длиной 20 м (в помещении объемом 70 м³) был преодолён звеном за 100 с.

Для апробации предложенных способов осаждения дыма в условиях, приближенных к реальным действиям на пожаре, были проведены эксперименты, в ходе которых регистрировалось изменение светопрозрачности среды (рисунок 18). Изменение видимости после подачи ВСМФС и последующего распыления холодной воды соответствует участку III на рисунке 18а. Аналогично эксперимент был повторен с использованием разработанного устройства осаждения аэрозолей (УОА). Характер изменения фототока (светопрозрачность среды) в ходе проведения эксперимента представлен на рисунке 18б.

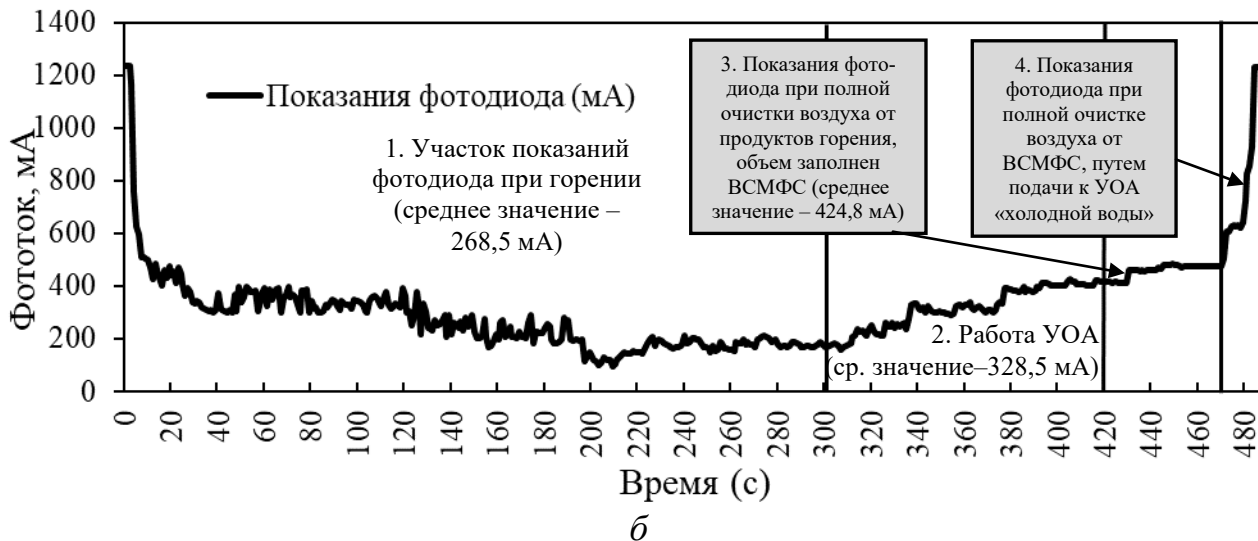


Рисунок 18 – Результаты экспериментов по осаждению продуктов горения:
 а) изменение фототока при поэтапном осаждении продуктов горения в объеме помещения струями ВСМФС и холодной распыленной воды;
 б) изменение фототока при осаждении продуктов горения посредством УОА

Таким образом, использование УОА позволяет полностью очистить воздух от дыма (аэрозольных частиц) и заменить его на чистую парокапельную среду в помещении объемом 100 м³ за 2,5 мин. Для полной очистки помещения (от парокапельной среды) понадобилось от 40 с до 1 мин., при этом связывание парокапельной среды производилось путем подачи холодной воды (до 30 °С) в УОА.

Сравнение эффективности действия и удобства использования предложенных способов осаждения дыма предполагает для каждого из них свой сектор применения. К достоинству способа, реализуемого при помощи УОА, относится скорость осаждения, а к недостатку – необходимость перемещения устройства. В то же время этот недостаток является достоинством способа, реализуемого распылением ВСМФС в объеме и последующего осаждения распыленной водой. Способ, реализуемый при помощи УОА, может найти применение в системах борьбы с дымом как оперативного применения, так и в стационарном исполнении. Способ осаждения при помощи струй ВСМФС более применим в условиях пожара.

При решении проблемы доступа к зоне горения, логично возникает вопрос об обеспечении пожарных объемными средствами тушения. Для этого была проведена модернизация конструкции УОА для возможности его применения в двух режимах: осаждения дыма (для обеспечения продвижения звена ГДЗС в дыму) и осуществления объемного тушения (по мере достижения помещения пожара) (рисунок 19).

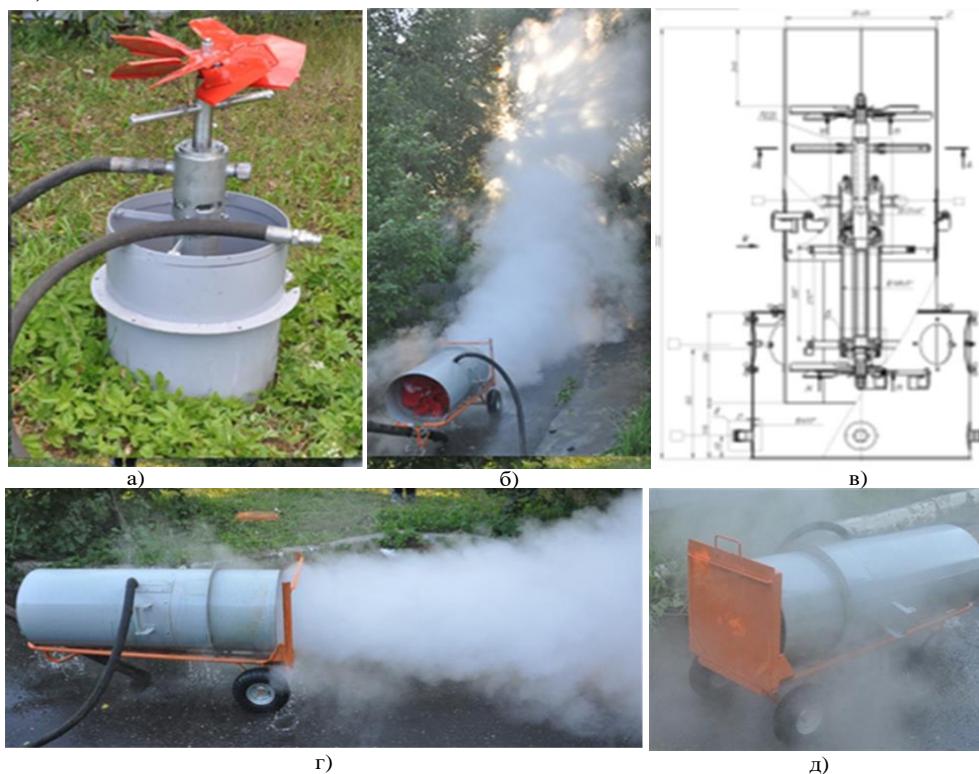


Рисунок 19 – Общий вид и работа верхней части устройства осаждения аэрозолей: а) вид разобранного устройства осаждения аэрозолей; б, г) работа устройства в режиме тушения пожара; в) сборочный чертеж модифицированного устройства; д) работа устройства в режиме осаждения аэрозолей

Исследование состава и размера капель ВСМФС указали, что использование насадка-распылителя с соплом Лавалья позволяет получать максимальное количество капель минимально возможного размера, чем при использовании других насадков-распылителей, так как скорость седиментации (оседания, выпадения) капель с меньшими размерами минимальна. Например, скорость оседания капель размером 20 мкм не превышает 0,01 м/с. Поэтому при заполнении объемов ВСМФС седиментация капель возможна только после укрупнения капель в ре-

зультате нуклеации и коагуляции при продвижении или витании капель внутри заполняемого объема – процессов, способствующих увеличению размера капель. Фактически оседание капель воды будет происходить только после того, как их размеры превысят необходимые для оседания под действием гравитационных сил (сил тяжести). Таким образом, при интенсивности подачи ВСМФС, превышающей скорость нуклеации, коагуляции и последующей седиментации капель ВСМФС, внутри объема будет создаваться огнетушащее метастабильное облако. Это облако с конвективными потоками инжестируемого в очаг пожара воздуха будет поступать к очагу и участвовать в прекращении пламенного горения.

Для определения свойств ВСМФС как объемного средства тушения пожаров проведена серия натурных экспериментов по определению показателей, характеризующих пламеподавляющую способность ВСМФС при горении модельных очагов в условно герметичном объеме, что представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования ВСМФС как средства объемного тушения пожара

№ п/п	Объект эксперимента	Параметр негерметичности, м ⁻¹	Интенсивность подачи ВСМФС, при которой прекращается пламенное горение, кг/(м ³ ·с)
1.	Прямоугольные смежные помещения	0,012	0,005
2.	Протяженный кабельный коллектор	0,022	0,008
3.	Зигзагообразный кабельный коллектор	0,009	0,006

На основе теоретического обзора моделирования фазового состава ВСМФС и натурных экспериментов доказано, что парокapельная водная среда, полученная в результате взрывного вскипания, является средством объемного ТП на объектах энергетики, так как благодаря малой инерционности капель ВСМФС (размер от 0,01 до 10 мкм) среда заполняет сложные геометрические объемы, минимально осаждаясь на стенках ограждающих конструкций. Среда ВСМФС устойчива в объеме (не менее 30 минут находится во взвешенном состоянии) и обладает сверхвысокой теплоотдачей из-за малых размеров капель. Кроме того, часть воды переходит в пар, что активизирует механизм ингибирования. Экспериментально определено, что интенсивности подачи ВСМФС от 6 до 8 г воды на 1 м³ достаточно для обеспечения условий подавления пламени в защищаемом объеме при параллельном снижении других ОФП (дым, температура, излучение). Данное средство объемного ТП на порядок повышает возможность локализации пожара подразделением ПО без нахождения в процессе тушения у зоны горения с достаточной производительностью и простотой возобновления ОТВ («неиссякаемостью»).

Глава 6 Концепция противопожарной защиты объектов энергетики с учетом локализации пожаров в зданиях. *Обоснован метод локализации пожара объекта энергетики и предложена методика оценки достаточности сил и средств пожарно-спасательных гарнизонов, на основе которых обоснована концепция противопожарной защиты объектов энергетики с учетом локализации пожаров в зданиях.*

Задачей метода локализации пожаров объектов энергетики является расчетное обоснование комплекса оперативно-тактических и инженерно-технических мероприятий в условиях развития единичного пожара, позволяющих обеспечить ТП в тех размерах, которые не приведут к остановке технологического процесса выработки энергии при условии обеспечения безопасности персонала объекта энергетики. К задаче, решаемой методом, не относятся катастрофические (запроектные) аварии, когда первичное событие мгновенно приводит к разрушению объекта энергетики или его значительной части. Подобные задачи решить применением ПО чаще всего не представляется возможным.

Сущность метода состоит в расчете хода ТП объекта энергетики имеющимися СиС ПО на основе принятой модели и с использованием статистических закономерностей. Если результат расчета не удовлетворяет цели сохранения работоспособности объекта энергетики, в расчетную схему включаются дополнительные силы либо средства, позволяющие оптимизировать (ускорить) процесс тушения. Производится повторный расчет, определяется результат, в зависимости от которого производится добавление либо замена ресурсов и расчетный цикл повторяется. На рисунке 20 представлена блок-схема метода.



Рисунок 20 – Метод локализации пожаров объектов энергетики

Расчет СиС ПО осуществляется по представленному циклу до достижения баланса в соответствии с определенной целью ТП. Наиболее привычным способом достижения баланса является увеличение привлекаемых к ТП сил. В случаях пожара объекта энергетики это не всегда представляется возможным, так как ряд объектов удален от крупных сил ПО. В этом случае приходится либо увеличивать численность объектового подразделения ПО, либо предусматривать организационные, и (или) технические меры, которые должны быть направлены на бесперебойное обеспечение ОТВ, работоспособности средств их подачи и возможности непрерывного ТП от момента начала подачи ОТВ – комплекс мер, позволяющих ствольщикам находиться на позиции с момента начала подачи ОТВ до локализации и последующей ликвидации пожара.

Расчетные методики, составляющие метод, усовершенствованы и расширены по сравнению с классической расчетной схемой пожарной тактики. Замена принципа двукратного уменьшения скорости распространения горения после введения первого ствола на тушение, вне зависимости от площади пожара, вводится расчет снижения скорости распространения пожара при введении каждого ствола. В новой методике предложен безразмерный коэффициент ТП, физический смысл которого выражается в степени охвата фронта пожара фронтом тушения стволов и может быть записан в виде:

$$K_{\text{туш}} = \left(1 - \frac{\Phi_{\text{туш}}}{\Phi_{\text{пож}}}\right), \quad (17)$$

где $\Phi_{\text{туш}}$ – фронт тушения пожара поданных стволов; $\Phi_{\text{пож}}$ – фронт пожара.

В предлагаемой методике расчета динамики площади пожара также учитываются вынужденные перерывы в подаче ОТВ, связанные с недостатком ОТВ, либо сменой звеньев ГДЗС для восстановления ресурса СИЗОД. Кроме этого, наряду с расчетом подачи ОТВ ручными водяными и пенными стволами поверхностным способом методика позволяет рассчитывать применение объемного способа пожаротушения различными ОТВ от мобильных средств пожаротушения (воздушно-механическая пена, газовые составы). При этом снижение скорости распространения пожара предлагается рассчитывать не только снижая линейную скорость распространения пожара, но и учитывая скорость тушения пожара, вычитая ее из имеющейся площади пожара в единицу времени.

Таким образом, в дополнение к классическому тактическому расчету, ставящему своей целью определение временных параметров локализации пожара, производится расчет времени тушения до момента ликвидации открытого горения и его верификация со статистическими данными. Это позволяет рассчитать время задействования СиС на пожаре и определить на этапе предварительного планирования необходимость привлечения дополнительных СиС. Введение в методику расчета скорости ТП позволяет осуществить построение расчетной схемы его полного цикла с момента подачи первого ствола до ликвидации открытого горения с учетом перерывов в подаче ОТВ, вызванных недостатком противопожарного водоснабжения, повреждением насосно-рукавных систем или отказом пожарной техники, либо сменой звеньев ГДЗС для восстановления ресурса СИЗОД. Для реализации расчетов по предлагаемой методике из банка статистических данных о пожарах в Российской Федерации за 2013–

2018 годы была осуществлена выборка и последующий расчет показателя скорости тушения пожаров объектов энергетики.

Выборки и расчеты по определению скоростей тушения были произведены для основных помещений объектов энергетики, пожары в которых могут привести к остановке технологического процесса выработки энергии, с последующей математической обработкой. Результаты приведены на рисунке 21.

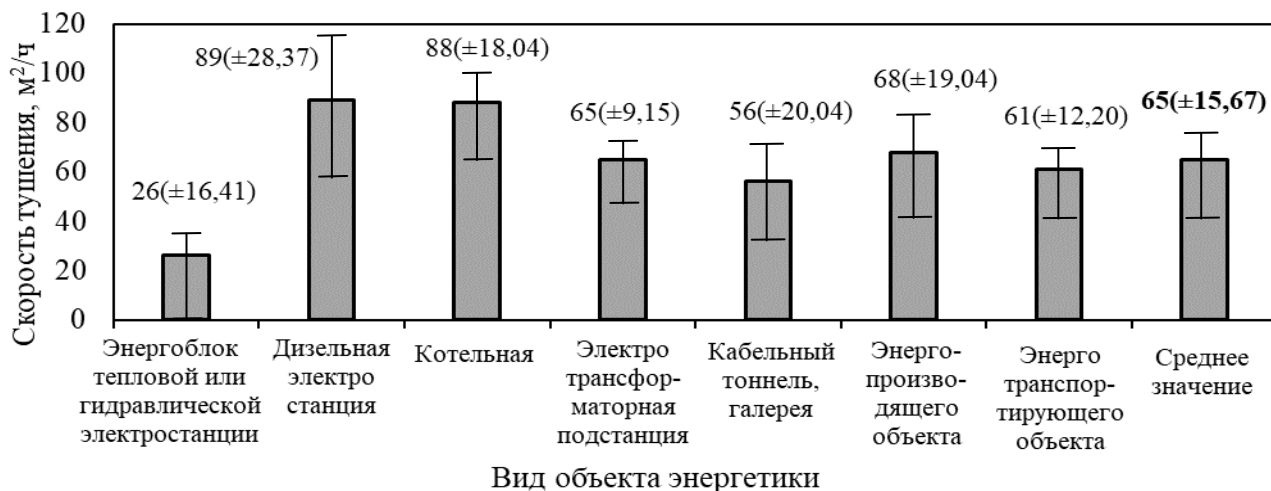


Рисунок 21 – Средняя скорость (м²/ч) тушения пожара на объектах энергетики за 2013–2018 гг.

Расчет характера изменения площади пожара производится в соответствии с моделью развития пожара для соответствующей формы его развития до момента введения на тушение средств подачи ОТВ (стволов):

$$\Delta S_{\Pi} = mF_{\Pi}V_{\Pi}T; \quad (18)$$

$$\Delta S_{\Pi\Pi} = V_{st}N_{ств}T. \quad (19)$$

Когда $\Delta S_{\Pi} = \Delta S_{\Pi\Pi}$ наступит локализация. Расчет площади пожара производится разностью произведения числа направлений распространения пожара, фронта пожара, и линейной скорости распространения горения и произведения площадной скорости тушения пожара одним стволом на число стволов за время:

$$S_{\Pi} = S_{св,р} + (\sum_{i=1}^n (mF_{\Pi}V_{\Pi}) - V_{st}N_{ств})T; \quad (20)$$

$$S_{\Pi} = \int_0^{T_{\max}} (\sum_{i=1}^n (mF_{\Pi}V_{\Pi}) - V_{st}N_{ств})dT. \quad (21)$$

На основе данной расчетной модели создана соответствующая «Программа по оценке достаточности сил и средств тушения пожара». При графической интерпретации достаточности СиС для своевременного и непрерывного ТП учитывались максимальная и минимальная скорости распространения горения и тушения пожара, что позволило сформировать пессимистические и оптимистические сценарии развития и тушения пожаров объектов энергетики.

В качестве примера рассчитано тушение возможного пожара на объектах энергетики силами ПСГ областного центра. Организацию сосредоточения СиС ПО и обеспечение ТП объектов энергетики в крупных гарнизонах можно считать сбалансированными, так как СиС ПО в большинстве случаев достаточно для ЛП даже на крупном объекте энергетики (рисунок 22).

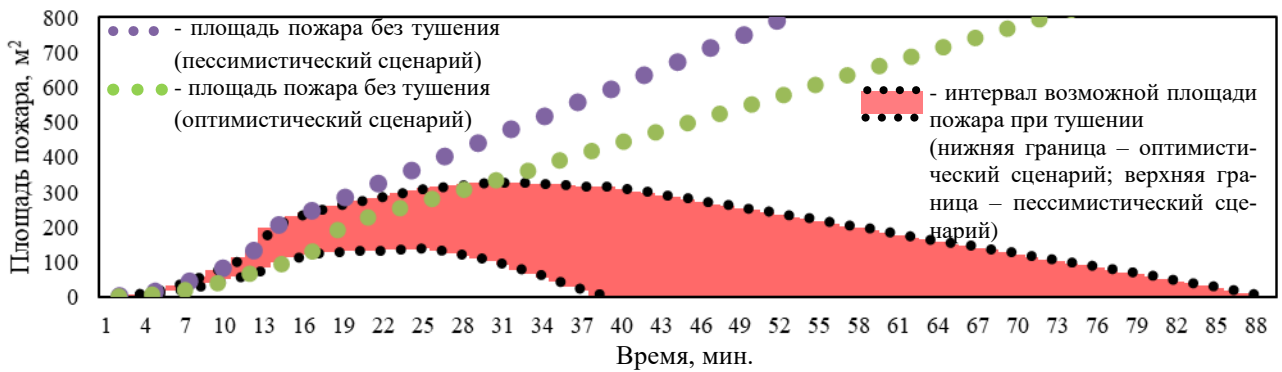


Рисунок 22 – Прогноз развития и тушения пожара в машинном зале ТЭЦ, расположенной в крупном ПСГ (задействовано 16 отделений)

Наибольшую сложность вызывают проблемы сосредоточения СиС на крупных объектах энергетики, расположенных в отрыве от крупных гарнизонов, и средних объектах энергетики в малых гарнизонах. В этих случаях возникает критичный недостаток сил в стадии сосредоточения, приводящий к росту масштаба пожара, что показано на рисунке 23.

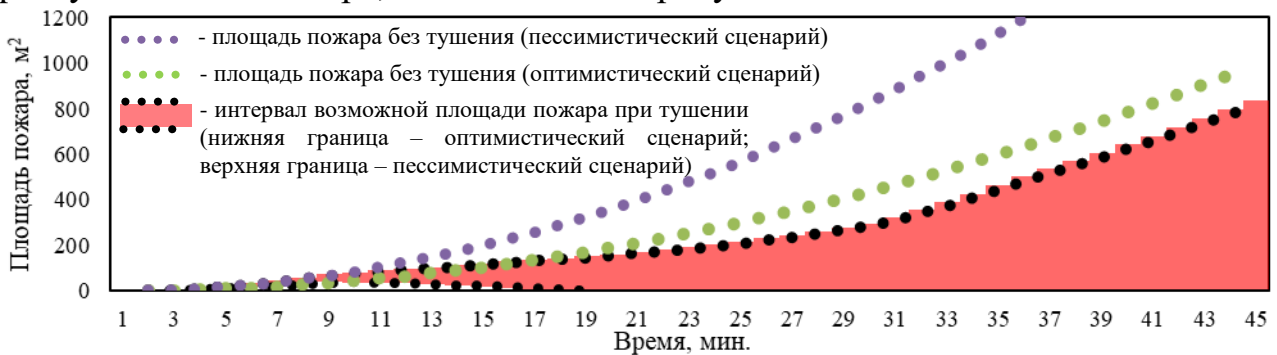


Рисунок 23 – Прогноз развития пожара и его тушения в машзале АЭС при тушении имеющимися силами местного ПСГ (задействовано 17 отделений)

Как показывают результаты расчетов по предложенной методике, в случае пессимистического сценария, когда невозможно обеспечить наращивание СиС ПО, достаточных для предотвращения развития пожара, объект энергетики выводится из строя. Для достижения цели ТП наиболее «привычным» вариантом является увеличение СиС ПО, которые смогут обеспечить своевременное ТП. В исходные данные программы «искусственно» добавляли отделения (звенья ГДЗС) в ПСГ до момента, когда сил и средств гарнизона становилось достаточно для ТП. Результаты расчетов представлены на рисунке 24.

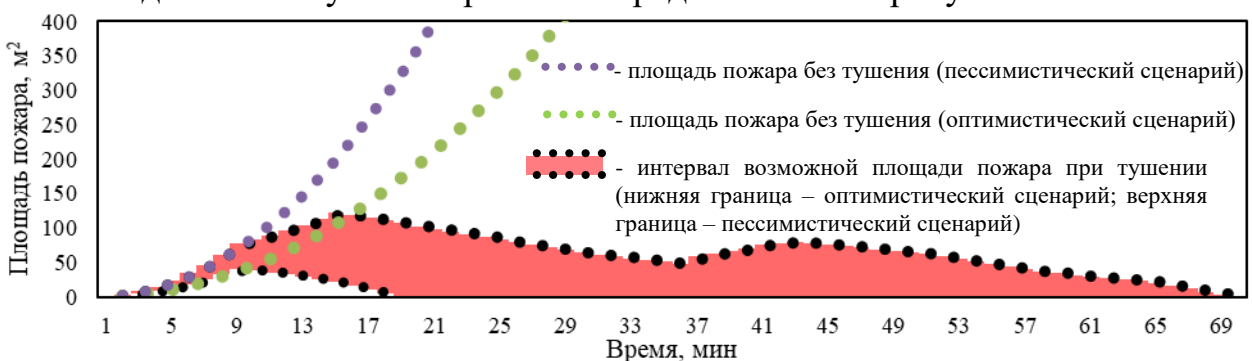


Рисунок 24 – Прогноз развития пожара в машинном зале АЭС при увеличении СиС ПО на пять отделений (задействовано 22 отделения)

На рисунке 24 участки повышения площади пожара, не характерные для «классической» модели расчета, возникают из-за вынужденного вывода стволов звеньями ГДЗС (исчерпания запаса ВЗД СИЗОД). Увеличение СиС ПО является надежным, но весьма затратным принципом достижения цели ТП. Альтернативным принципом обеспечения своевременного ТП является внедрение технических средств, оказывающих влияние на достижение цели ТП. Предложенные и разработанные в ходе исследования способы и технические решения могут положительно повлиять на ход ТП. Наиболее весомыми из них являются обеспечение непрерывного нахождения пожарных на позициях подачи ОТВ и тушение пожаров объемным способом от мобильных средств пожаротушения. Одним из главных факторов, влияющих на бесперебойную работу пожарных стволов, поданных звеньями ГДЗС, является ВЗД СИЗОД. Так, введя в исходные данные программы ВЗД соответствующего ДАСК, получили, что ПСГ сможет справиться с расчетным пожаром при увеличении численности гарнизона на одно отделение на пожарном автомобиле в случае пожара на АЭС (рисунок 25).

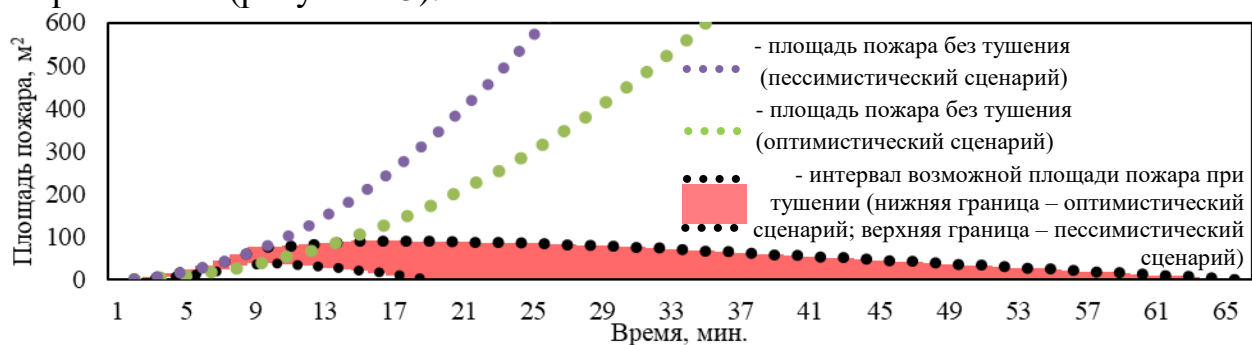


Рисунок 25 – Прогноз развития пожара в машинном зале АЭС при увеличении на одно отделение (всего 18 отделений) и замены дыхательных аппаратов с ДАСВ на ДАСК

По расчетным данным, в случае оснащения гарнизона техникой, способной обеспечить объемное тушение при помощи ВСМФС, с пожаром будет справляться объектовая часть, охраняющая объект энергетики. Анализ результатов расчетов показывает, что выполнить задачу по ТП возможно даже при уменьшении численности гарнизона, но, соответственно, при оснащении его необходимыми техническими средствами (рисунки 26 и 27).

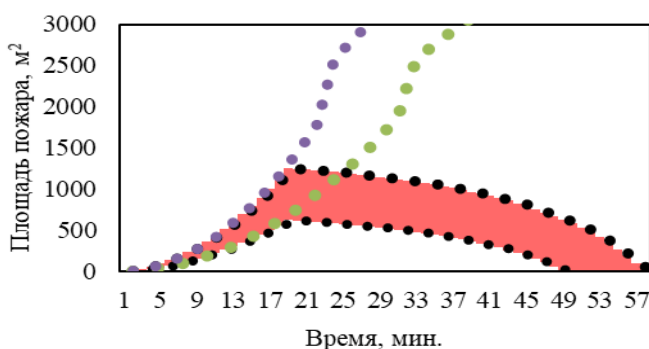


Рисунок 26 – Прогноз развития пожара в машзале АЭС при введении двух стволов ВСМФС с общим расходом 1 кг/с (всего 3 отделения)

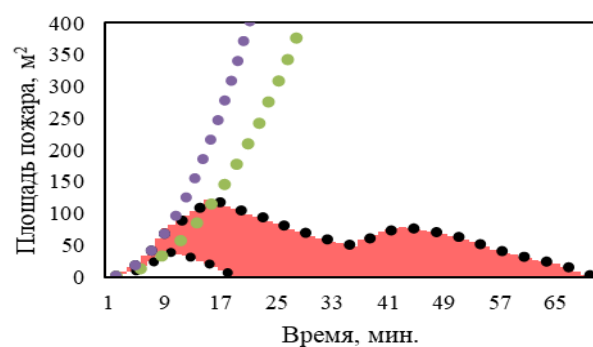


Рисунок 27 – Прогноз развития пожара в машзале АЭС при увеличении на пять отделений (всего 22 отделения)

Представленное сравнение моделей развития и тушения пожара одних и тех же помещений объектов энергетики посредством перспективной технологии меньшим числом пожарных и, напротив, путем увеличения числа отделений на основных пожарных автомобилях показывает схожие результаты локализации пожара. При этом соотношение числа задействованных отделений, позволяющее реализовать тактические возможности каждого вида техники, отличается от 4,5 до 7 раз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ последствий пожаров объектов энергетики показал высокую вероятность их отрицательного влияния на работоспособность отдельных объектов энергетики и устойчивость энергетического сектора в целом, что влечет возникновение социально-экономических чрезвычайных ситуаций, связанных с нарушением жизнедеятельности населения из-за прекращения подачи энергии. Анализ реагирования подразделений пожарной охраны на пожары объектов энергетики, показал достаточную обеспеченность этих объектов огнетушащими веществами и средствами их подачи. В то же время излишнее расходование огнетушащих веществ показало сложность их подачи непосредственно в зону горения и в значительной степени обусловлено скрытостью зоны горения от пожарных за дымом, что подтверждается ростом применения пожарными средств защиты, обеспечивающих работу в условиях непригодной для дыхания среды на фоне снижения числа пожаров на объектах энергетики. Оценка дислокации сил и средств пожарно-спасательных гарнизонов показала, что на удаленных от крупных населенных пунктов и значимых для энергетики страны объектах (атомные, гидро- и теплоэлектростанции) недостаточно численности и технического оснащения пожарной охраны для своевременной локализации пожара, позволяющей сохранять работоспособность объекта энергетики.

2. Проведенным сравнительным моделированием сложности тушения пожаров на различных промышленных объектах и в помещениях объектов энергетики, приводящих к остановке выработки энергии, выявлена возрастающая сложность тушения, связанная со снижением скорости передвижения и дезориентацией в задымленных помещениях, повышенной физической нагрузкой из-за использования средств защиты, риском поражения электрическим током, большой горючей нагрузкой, сложной планировкой помещений и т.д. При этом в условиях распространяющегося задымления время на развертывание сил растет, что отдаляет подачу огнетушащих веществ и не позволяет обеспечивать своевременную локализацию пожара, что в свою очередь приводит к остановке технологического процесса выработки энергии и созданию предпосылок к возникновению чрезвычайной ситуации, связанной с перебоем в подаче энергии населенным пунктам, объектам инфраструктуры или промышленности. Общая методология исследования сформирована в виде тактико-технического принципа формирования сил и средств, способных осуществить локализацию возникающего пожара на объекте энергетики с учетом сохранения его работоспособности.

3. На основе моделирования способов защиты участников тушения пожаров объектов энергетики от опасных факторов пожара предложен комплекс мер по снижению их воздействия. Разработана схема компоновки наиболее распространенного типа средств защиты органов дыхания, позволяющая улучшить эргономические и эксплуатационные характеристики. Разработан, смоделирован и экспериментально подтвержден эффект использования способа увеличения удельного времени защитного действия средств защиты участников тушения пожаров объектов энергетики от опасных факторов пожара на основе экономного расходования дыхательной смеси, что приводит к увеличению данного показателя на 20% при нагрузке средней тяжести и практически в два раза в режиме ожидания помощи. Предложен прототип комплекса технических средств обеспечения работ в непригодной для дыхания среде при тушении развившихся пожаров объектов энергетики с обоснованием технических решений, способствующих непрерывному тушению пожара, позволяющий оптимизировать состав технических средств обеспечения работ в непригодной для дыхания среде.

4. Прогнозное моделирование распространения опасных факторов пожара по помещениям объекта энергетики позволило определить время наступления критических показателей, воздействующих на оперативный персонал объектов энергетики. Обоснована целесообразность и возможность действий персонала объектов энергетики в начальной стадии развития пожара на объекте энергетики. Предложен комплекс организационно-технических решений по обеспечению действий персонала при возникновении пожара до начала работы подразделений пожарной охраны. Его использование позволит увеличить возможность действий оперативного персонала на щитах управления объекта энергетики до 20 минут, а в помещении машинного зала – до 27 минут, что сопоставимо со временем прибытия подразделений пожарной охраны. Разработаны принципы и технические решения повышения уровня подготовки участников тушения пожара объектов энергетики к действиям в условиях воздействия опасных факторов пожара, в том числе малых гарнизонов, где недостаточно развита практическая составляющая подготовки к тушению пожара в условиях, приближенных к реальным.

5. Разработаны теоретические основы повышения тактических возможностей пожарных подразделений по локализации пожаров объектов энергетики за счет применения объемного способа тушения пожара от мобильных средств пожаротушения и разработки способов и средств улучшения видимости в дыму на основе использования водной среды в метастабильном фазовом состоянии, позволяющие меньшими ресурсами пожарной охраны и с меньшим риском осуществлять подавление горения в помещениях объектов энергетики, вплоть до самых больших и протяженных (машзалов и кабельных помещений). Экспериментально определено, что подачи водной среды в метастабильном фазовом состоянии с интенсивностью от 6 до 8 г воды на 1 м³/с достаточно для прекращения пламенного горения в защищаемом объеме, а применение способов осаждения дыма повышает светопрозрачность среды более чем в 2 раза, что позволяет пожарным приблизиться к помещению пожара и осуществить локализацию пожара объемным способом, не находясь при этом в помещении пожара.

б. Обоснован метод локализации пожаров объектов энергетики, позволяющий составлять оптимальные комбинации состава сил и средств пожарной охраны на основе математических моделей развития пожара и воздействия огнетушащих средств. Разработана методика оценки достаточности сил и средств пожарно-спасательных гарнизонов для обеспечения локализации пожаров объектов энергетики. С ее помощью впервые рассчитан характер и время тушения прогнозируемого пожара на основе полученных скоростей тушения пожаров для основных помещений объектов энергетики (от 26 до 89 м²/ч в зависимости от типа помещения), что дает возможность определить состав и техническое оснащение сил и средств, требуемых для локализации пожара. Разработана компьютерная программа оценки достаточности сил и средств для тушения пожара объекта энергетики, которая учитывает различные варианты тактических действий подразделений пожарной охраны. Разработана концепция оптимизации противопожарной защиты объектов энергетики и составлен набор предложений по составу сил и комплексу средств, способных с учетом дислокации подразделений пожарной охраны осуществить локализацию возникающего пожара на объекте энергетики с целью сохранения его работоспособности, осуществление которых позволит достичь трех-шестикратного снижения расходов на содержание объектового подразделения пожарной охраны при сопоставимых тактических возможностях.

Совокупность результатов исследования, основанных на теории локализации пожаров объектов энергетики, сведенная в метод локализации данных пожаров с использованием разработанных способов повышения тактических возможностей пожарных подразделений, обоснованной возможности и готовности персонала объектов энергетики к тушению пожаров в начальной стадии, применением усовершенствованных средств защиты участников тушения пожаров объектов энергетики от опасных факторов пожара позволяет достичь цели исследования – разработки и реализации теории локализации пожара, направленной на сохранение работоспособности объекта энергетики, в том числе удаленного от крупных пожарно-спасательных гарнизонов, а также развития и воплощения теоретических основ жизнеобеспечения участников тушения пожара в условиях воздействия опасных факторов.

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

1. Ищенко, А.Д. Обоснование совершенствования системы информирования участников тушения пожара о существующем риске при выполнении основной боевой задачи [Текст] / Е.А. Мзюкова, И.А. Вотченко // Технологии техноферной безопасности. – 2019. – Вып. 4(86). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2019-4/01-04-19.ttb.pdf> (дата обращения 01.01.2020)

2. Ищенко, А.Д. Перспективы и возможности осаждения дыма при пожарах энергетических установок и помещений судов (кораблей) [Текст] / В.В. Робенко, И.Г. Малыгин, А.И. Соковнин // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 1 (43). Т. 3. – С. 91–98.

3. Ищенко, А.Д. Проблема подавления пожара на удалённых автономных объектах в условиях экстремально низких температур [Текст] / А.А. Таранцев, А.Л. Холостов, А.А. Таранцев, А.П. Горохов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2019. – № 2. – С. 30–40.

4. Ищенко, А.Д. Экспериментальное исследование вопроса спасения людей малочисленными подразделениями Архангельской области [Текст] / А.А. Воронов, А.В. Уваров, И.С. Фогилев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2019. – № 3. – С. 48–58.

5. Ищенко А.Д. Оценка достаточности сил и средств тушения пожаров объектов энергетики [Текст] / М.В. Алешков, В.В. Роечко, А.А. Колбасин, А.И. Соковнин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2018. – № 4. – С. 6–12.

6. Ищенко, А.Д. О способе подавления пожара на объектах Северного морского пути, в том числе энергообъектах [Текст] / А.А. Таранцев, А.А. Таранцев, А.П. Горохов // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 4 (42). Т.4. – С. 202–207.

7. Ищенко, А.Д. Проблемы организации тушения пожаров на энергораспределительных объектах Республики Крым [Электронный ресурс] / В.А. Малько // Технологии техносферной безопасности. – 2018. - № 4(80). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2018-4/03-04-18.ttb.pdf> (дата обращения 23.12.2019)

8. Ищенко, А.Д. Эксперименты тушения пожаров энергетических установок и помещений судов (кораблей) водной средой объёмным способом [Текст] / В.В. Роечко, И.Г. Малыгин // Морские интеллектуальные технологии. 2018 – № 3 (41) Т.1. – С.128–134.

9. Ищенко, А.Д. К проблеме достаточности сил и средств тушения пожаров объектов энергетики [Текст] / М.В. Алешков, В.В. Роечко, А.Л. Холостов, А.И. Соковнин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2018. – № 3. – С. 65–71.

10. Ищенко, А.Д. Инновации в тушении пожаров энергетических установок и помещений судов (кораблей) [Текст] / В.В. Роечко, И.Г. Малыгин, В.И. Комашинский // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 2 (40) Т. 2. – С. 73–80.

11. Ищенко, А.Д. К вопросу оптимизации подготовки местных пожарно-спасательных гарнизонов к работе в непригодной для дыхания среде [Текст] / М.А. Шурыгин, А.И. Нюганен // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2018. – №3. – С. 72–78.

12. Ищенко, А.Д. Совершенствование организации и управления силами и средствами пожарно-спасательного гарнизона [Электронный ресурс] / Р.В. Мордовцев, М.А. Шурыгин // Технологии техносферной безопасности. – 2018. – Вып. 1(77). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2018-1/08-01-18.ttb.pdf> (дата обращения 23.12.2019)

13. Ищенко, А.Д. Моделирование действий оперативного персонала атомной электрической станции в условиях развития опасных факторов пожара

[Текст] / И.С. Фогилев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация: научный журнал. – 2018. – № 1. – С. 20–27.

14. Ищенко, А.Д. Электробезопасность при тушении пожаров класса Е энергетических установок и помещений судов (кораблей) [Текст] / Т.И. Чистяков, И.Г. Малыгин, В.В. Вислогузов // Морские интеллектуальные технологии. – 2018 – № 2 (40) Т.2. – С. 81–89.

15. Ищенко, А.Д. О построении уточненного совмещенного графика для расчета сил и средств для тушения пожара [Текст] / В.В. Ключ, С.В. Польшко, А.А. Таранцев // «Пожаровзрывобезопасность» Fire and Explosion Safety. – 2018. – Т. 27, № 2-3. – С.82–92.

17. Ищенко, А.Д. Пожарная опасность и особенности тушения пожаров энергетических установок и помещений судов [Текст] / В.В. Роечко, И.Г. Малыгин // Морские интеллектуальные технологии. 2018. – № 1 (39) Т.1. – С. 88–94.

18. 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://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-6/05-06-17.ttb.pdf> (дата обращения 12.01.2020)

19. Ищенко, А.Д. Об обеспечении непрерывного тушения пожаров критически важных объектов в условиях задымления [Электронный ресурс] // Технологии техносферной безопасности. – 2017. - № 5 (74). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-5/08-05-17.ttb.pdf>.

20. Ищенко, А.Д. Временной механизм воздействия опасных факторов пожара на персонал АЭС и комплексная защита от них [Текст] / С.В. Пузач, О.С. Лебедченко, И.С. Фогилев // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – № 8. – С.15–24.

21. Ищенко, А.Д. Комплексная оценка готовности газодымозащитников к работе в дыхательных аппаратах [Электронный ресурс] / В.М. Батюшев, Г.В. Талалаева, К.В. Легенький // Технологии техносферной безопасности. – 2017. - № 2 (72). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-2/01-02-17.ttb.pdf> (дата обращения 12.01.2020).

22. Ищенко, А.Д. О задачах анализа и синтеза систем обслуживания заявок нескольких типов [Текст] / А. А. Таранцев, А.Л. Холостов, В.В. Потапенко // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – № 3. – С.31–38.

23. Ищенко, А.Д. Моделирование элементов логистики в чрезвычайных ситуациях на труднодоступных объектах [Текст] / А.Л. Холостов, А. А. Таранцев, А.О. Жуков // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – № 4. — С.41–49.

24. Ищенко, А.Д. Автоматизированная система научных исследований технических средств противоаварийной и противопожарной защиты взрывопожароопасных технологических процессов [Текст] / А.В. Фёдоров, А.А.-Б. Гаплаев, Е.Н. Ломаев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2017. – № 2. – С.46-52.

25. Ищенко, А.Д. Тушение маслonaполненных кабелей в зигзагообразном коллекторе [Текст] / В.В. Роечко, А.И. Соковнин, С.М. Краснов, С.П. Храмцов

// Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2016. – № 4. – С.38–42.

26. Ищенко, А.Д. Тушение пламени в протяжённых замкнутых сооружениях энергообъектов [Текст] / В.В. Роечко, А.И. Соковнин, С.М. Краснов, С.П. Храмов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2016. – № 3. – С.44–49.

27. Ищенко, А.Д. К вопросу расчета экономической эффективности локализации чрезвычайных ситуаций и тушения пожаров при выполнении работ в непригодной для дыхания среде [Текст] / О.Е. Иванюк // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2016 – № 3(30). – С. 53–59.

28. Ищенко, А.Д. Особенности управления пожарными подразделениями при эксплуатации специальной защитной одежды изолирующего типа [Электронный ресурс] / Коршунов И.В., Михайлов Е.С., Колеватов М.С. // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – № 1 (65). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-1/43-01-16.ttb.pdf> (дата обращения 12.01.2020).

29. Ищенко, А.Д. Объемный способ прекращения открытого горения в помещениях объектов энергетики [Текст] / В.В. Роечко, А.И. Соковнин, С.М. Краснов, С.П. Храмов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2016. – № 2. – С.36–42.

30. Ищенко, А.Д. Условия видимости для пожарных в задымлённой зоне при тушении пожаров на объектах энергетики [Электронный ресурс] / А.И. Соковнин, В.Д. Федяев // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – Вып. 3(67). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-3/26-03-16.ttb.pdf> (дата обращения 12.01.2020).

31. Ищенко, А.Д. Проблематика сохранения работоспособности объекта энергетики в условиях пожара [Текст] // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2016. – №1. – С.72-77.

32. Ищенко, А.Д. Возможности спасения людей в непригодной для дыхания среде малочисленными пожарными подразделениями [Электронный ресурс] / А.Е. Середа, И.С. Фогилев, Д.С. Кармышев // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – Вып. 5(69). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-5/30-05-16.ttb.pdf> (дата обращения 12.01.2020).

33. Ищенко, А.Д. Защита оперативного персонала энергопредприятия от воздействия опасных факторов пожара [Электронный ресурс] / И.С. Фогилев, А.И. Соковнин, М.А. Шурыгин // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – Вып. 5 (69). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-5/31-05-16.ttb.pdf> (дата обращения 12.01.2020).

34. Ищенко, А.Д. Проблемы обеспечения тушения пожаров на объектах энергетики оперативными подразделениями пожарной охраны [Текст] // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – № 5. — С.26–36.

35. Ищенко, А.Д. Об особенностях функционирования дежурно-диспетчерских служб экстренного реагирования [Текст] / А.А. Таранцев, Д.А.Малышев // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – № 2 (25). – С.75–80.

36. Ищенко, А.Д. Осаждение дыма на объектах энергетики температурно-активированной водой [Текст] / В.В. Роевко, А.И. Соковнин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2016. – №1. – С.54–59.

37. Ищенко, А.Д. Об эффективности использования пожарными средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения [Электронный ресурс] / О.Е. Иванюк // Технологии техносферной безопасности. – 2016. - Вып. 1(65). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-1/36-01-16.ttb.pdf> (дата обращения 28.11.2019).

38. Ищенко, А.Д. Нормативно-правовая основа жизнеобеспечения человека при пожаре [Электронный ресурс] // Технологии техносферной безопасности. – 2016. - Вып. 6(64). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-6/35-06-15.ttb.pdf> (дата обращения 28.11.2019).

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

40. Ищенко, А.Д. Об эффективности использования пожарными средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения [Электронный ресурс] / И.С. Фогилев // Технологии техносферной безопасности. – 2015. - Вып. 2(60). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-2/33-02-15.ttb.pdf> (дата обращения 28.11.2019).

41. Ищенко, А.Д. О готовности пожарных подразделений к выездам в случаях гибели и травмирования людей при пожарах [Электронный ресурс] // Технологии техносферной безопасности. – 2013. - Вып. 1(47). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2013-1/08-01-13.ttb.pdf> (дата обращения 28.11.2019).

42. Ищенко, А.Д. Комплексный подход к минимизации последствий токсического воздействия дыма на пожарных [Текст] / Л.А. Коннова // Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России. – 2012. – №1. – С.1-11.

43. Ищенко, А.Д. Оценка уровня готовности подразделения пожарной охраны к действиям по тушению пожаров [Электронный ресурс] / А.С. Смирнов, П.В. Ширинкин // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2010 – №1(13). – С.49-58.

44. Ищенко, А.Д. Метод повышения тепловой устойчивости пожарных [Текст] / Л.А. Коннова, Д.С. Шупнев // Пожаровзрывобезопасность. – 2000. – № 4. – С. 3-8

45. Ищенко, А.Д. Оптимизация массовременной характеристики средств защиты органов дыхания пожарных [Текст] // Пожаровзрывобезопасность. – 1999. – № 4. – С. 62-70.

Монографии:

46. Ищенко, А.Д. Научные основы обеспечения тушения пожаров объектов энергетики [Текст]: Монография. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. – 223 с.

47. Ищенко, А.Д. Специализированные подразделения пожарной охраны [Текст] / Ш.Ш. Дагиров, М.В. Алешков, др. : Монография. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. – 172 с.

Остальные публикации по теме диссертации:

48. Ищенко, А.Д. Возможности тушения пожаров водной средой [Текст] / В.В. Роечко, А.И. Соковнин // Сборник тезисов и докладов форума «Безопасность населения и бизнеса» Республика Казахстан, г. Актобе, 24-25 октября 2019 г. С.27–33.

49. Ищенко, А.Д. К вопросу обоснования деятельности подразделений пожарной охраны по тушению пожаров в современных условиях [Текст] / Д.В. Киселев // Материалы 6-й Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» – М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. – С.30-34.

50. Ищенко, А.Д. Взаимодействие подразделений ФПС ГПС по охране АЭС с Федеральной службой войск Национальной гвардии при реагировании на пожары атомных электростанций [Текст] / А.А. Назарко, И.С. Фогилев // Материалы 6-й Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» – М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. – С.90–93.

51. Ищенко, А.Д. Зависимость скорости движения звена ГДЗС от снижения видимости в дыму [Текст] / А.И. Соковнин, И.В. Коршунов // Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции «Актуальные вопросы профессиональной подготовки пожарных и спасателей». – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. – С.45-47.

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

53. Ищенко А.Д. Организация тренировок оперативного персонала атомных электростанций в дыхательных аппаратах со сжатым воздухом [Текст] // Международная конференция по проблемам предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в Арктике «Обеспечение безопасности при реализации крупных экономических и инфраструктурных проектов в Арктике. Проблемы и пути решения» Сборник материалов. МЧС России, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). 2016. С.78–82.

54. Ищенко, А.Д. Проблематика локализации чрезвычайных ситуаций, связанных с образованием опасной для человека среды в условиях низких температур [Текст] // Обеспечение безопасности при реализации крупных экономических и инфраструктурных проектов в Арктике. Проблемы и пути решения. Материалы международной конференции. – Салехард: МЧС России, 2016. – С.78–82.

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

56. Ищенко, А.Д. Тушение пожаров в условиях недостаточной видимости [Текст] / А.И. Соковнин // Материалы 4-й Международной научно-технической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» Часть 1. – 2015 – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – С.154–159.

57. Ищенко, А.Д. Разработка системы информирования участников тушения пожара об угрозе объекта пожара [Текст] / Е.А. Мзокова // Материалы 4-й Международной научно-технической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» Часть 1. – 2015 – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – С.113–114.

58. Ищенко, А.Д. О некоторых особенностях организации деятельности местных гарнизонов пожарной охраны [Текст] // Материалы 3-й Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» Часть 2. – 2014. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. – С.126–127.

59. Ищенко, А.Д. Обеспечение деятельности подразделений пожарной охраны на месте пожара [Текст] / А.И. Соковнин // Материалы 3-й Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» Часть 2. – 2014. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. – С.196–198.

60. Ищенко, А.Д. Специальный автомобиль обеспечения работ в непригодной для дыхания среде [Текст] // Материалы 2-й Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» Часть 2. – 2014. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2013.

61. Ищенко, А.Д. Неравномерность подготовки газодымозащитников в гарнизонах пожарной охраны [Текст] / А.В. Хачиров, И.А. Бокарев // Материалы 3-й Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» Часть 2. – 2014. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. – С.170–171.

62. Ищенко, А.Д. Автономный мобильный многоцелевой комплекс для локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций (АММК-ЧС) [Текст] // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сборник материалов VII международной научно-практической конференции курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов). – В 2-х ч. Ч.1. – Минск: КИИ, 2013. – С.143–144.

63. Ищенко, А.Д. К вопросу оптимизации материально-технического оснащения отдельных подразделений государственной противопожарной службы МЧС России [Электронный ресурс] / О.Е. Иванюк // Экономика МЧС России. Управление. Инновации. Ресурсы. – 2013. – № 3. – С.40-43 – Режим доступа: https://igps.ru/Content/publication/documents/eco_3_13_635914747899687344.pdf (дата обращения 21.11.2019).

64. Экономические аспекты тушения пожаров в непригодной для дыхания среде. [Текст] / О.Е. Иванюк // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сборник материалов VII международной научно-практической конференции курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов). – В 2-х ч. Ч.2. – Минск: КИИ, 2013. – С.164–165.

65. Ищенко, А.Д. Особенности тушения пожаров в непригодной для дыхания среде [Текст] // Материалы 1-й Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» – 2012. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012.

66. Ищенко, А.Д. Методика оценки готовности подразделений частной, добровольной, ведомственной и муниципальной пожарной охраны к тушению пожаров [Текст] / П.В. Ширинкин // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты населения и территорий от пожаров и катастроф». СПб, СПбУГПС МЧС России, 2006.

67. Ищенко, А.Д. Мобильный комплекс подготовки к работе в непригодной для дыхания среде [Текст] // Материалы международной научно-практической конференции «Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций». СПб, СПбУГПС МЧС России, 2006.

68. Ищенко А.Д. Комплексный подход к оценке функционального состояния газодымозащитников в процессе тренировочных занятий [Текст] / Д.С. Шупнев // Материалы второй международной научно-практической конференции «Проблемы обеспечения пожарной безопасности Северо-Западного региона». СПб, СПб университет МВД России, 2001.

69. Ищенко А.Д. Оптимизация схем эксплуатации дыхательных аппаратов в деятельности ГДЗС ГПС [Текст] // Материалы XV Научно-практической конференции «Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков». М.: ВНИИПО, 1999.

70. Ищенко, А.Д. Современные проблемы работы пожарных в непригодной для дыхания среде [Текст] // Научно-практическая конференция, посвященная 350-летию пожарной охраны «Современные проблемы тушения пожаров». Москва, 22-23 апреля 1999.

71. Ищенко, А.Д. Увеличение удельного времени защитного действия дыхательного аппарата со сжатым воздухом [Текст] / Д.С. Шупнев // Материалы первой Сибирской научно-практической конференции «Проблемы деятельности государственной противопожарной службы регионов Сибири и Дальнего Востока», Иркутск, Восточно-Сибирский институт МВД России, 1998.

72. Ищенко, А.Д. Оптимизация некоторых эргономических параметров средств индивидуальной защиты органов дыхания для пожарных [Текст] / Д.С. Шупнев // Жизнь и безопасность. 1997. – № 4.

73. Ищенко, А.Д. Способы совершенствования средств индивидуальной защиты органов дыхания [Текст] / В.В. Роевко // Материалы научно-технической конференции «Научно-технические решения по предотвращению и ликвидации пожаров» (Формула безопасности - 94). М.: ВИПТШ МВД РФ, 1994.

74. Ищенко, А.Д. Обеспечение автономной работы газодымозащитной службы на пожарах и авариях [Текст] / Евсеев А.А. // Материалы 12-ой Всероссийской научно-практической конференции «Научно-техническое обеспечение противопожарных и аварийно-спасательных работ». М.: ВНИИПО, 1993.

75. Ищенко, А.Д. Возможности регенеративных дыхательных аппаратов [Текст] // Материалы первого съезда специалистов по безопасности деятельности человека. СПб, ЛТА, 1992.

Патенты Российской Федерации на изобретения:

76. Устройство осаждения аэрозолей: пат. 2618259 Рос. Федерация : МПК⁵¹ В 01 D 47/00 / Роечко В.В., Мишина Е.Ю., Ищенко А.Д., Карпенко Е.О., Соковнин А.И.; заявитель Соковнин А.И.. – № 2015139746; заявл. 18.09.2015; опубл. 03.05.2017, Бюл. № 13. – 1 с.

77. Способ получения огнетушащей струи и устройство для получения огнетушащей струи: пат. 2582446 Рос. Федерация : МПК А62С2/00 / И.Р. Бегишев, Ищенко А.Д., А.П. Кармес, А.В. Пряничников, В.А. Пряничников, А.В. Роечко, В.В. Роечко; заявитель Салмина О.Б. – № 2014106078; заявл. 19.02.2014; опубл. 27.04.2014, Бюл. № 11. – 9 с.

78. Мобильный комплекс для локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций: пат. 2548828 Рос. Федерация: МПК А62С 27/00 / Тетерин И.М., Алешков М.В., Ищенко А.Д., Роечко В.В., Пряничников В.А., Храпцов С.П., Пряничников А.В., Кармес А.П.; заявитель Салмина О.Б. – №: 2013154749/11; заявл. 11.12.2013; опубл. 20.04.2015, Бюл. № 11. – 3 с.

79. Способ компоновки изолирующего дыхательного аппарата с открытой схемой дыхания: пат. 2307688 Рос. Федерация : МПК А62В 7/02 / Ищенко А.Д., Черепанов М.Г.; заявитель Ищенко А.Д.; заявл. 11.01.2006; опубл. 10.10.2007, Бюл. № 28. – 4 с.

80. Способ транспортирования противопожарного, аварийно-спасательного оборудования, пострадавших и устройство для его осуществления (варианты): пат. 2301189 Рос. Федерация : МПК А62В 7/02 / Ищенко А.Д., Черепанов М.Г.; заявитель Ищенко А.Д.; заявл. 26.04.2005; опубл. 20.06.2007, Бюл. № 17. – 14 с.

81. Способ экономии ресурса средств индивидуальной защиты органов дыхания и устройство для его осуществления: пат. 2277431 Рос. Федерация: МПК А62В 7/02 / Ищенко А.Д., Черепанов М.Г.; заявитель Ищенко А.Д.; заявл. 06.09.2004; опубл. 10.06.2006, Бюл. № 16. – 7 с.

82. Способ увеличения времени защитного действия дыхательных аппаратов: пат. 2085233 Рос. Федерация : МПК А62В 7/02 / Ищенко А.Д.; заявитель Ищенко А.Д.; заявл. 30.03.1994; опубл. 27.07.1997, Бюл. № 21. – 3 с.

83. Выносной манометр: пат. 2010582 Рос. Федерация : МПК А62В 7/02 / Ищенко А.Д.; заявитель Ищенко А.Д.; заявл. 29.04.1991; опубл. 15.04.1994, Бюл. № 2. – 6 с.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:

84. Ищенко, А.Д. Программа по оценке достаточности сил и средств тушения пожара / А.И. Соковнин // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018662062 от 26.09.2018.

Подписано в печать 23.06.2021. Формат 60×84¹/₁₆

Печать офсетная. Усл.-печ. л. 2,0. Тираж 100 экз. Заказ № 264

Академия ГПС МЧС России. 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4