

**Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий
Донецкой Народной Республики**

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОГО ДЕЛА, ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
И ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ «РЕСПИРАТОР»**

На правах рукописи

УДК 614.895.5:[621.5:546.212]

Завьялов Геннадий Вячеславович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ПРОТИВОТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ СПАСАТЕЛЯ
С ОХЛАЖДЕНИЕМ ПРОТОЧНОЙ ВОДОЙ**

Специальность 05.26.01 – Охрана труда
(по отраслям) (технические науки)

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
д-р техн. наук, с. н.с
Мамаев В. В.

Идентичность всех экземпляров
ПОДТВЕРЖДАЮ
Ученый секретарь
диссертационного совета Д 01.008.01
доктор технических наук, доцент

И.А. Бершадский

Донецк – 2019

СОДЕРЖАНИЕ		с
ВВЕДЕНИЕ		5
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ		10
1.1. Общие сведения		10
1.2. Анализ условий и тактических приемов тушения пожаров на объектах с повышенным тепловым воздействием		11
1.3. Эрготермические нагрузки на пожарных-спасателей при ведении аварийно-спасательных работ		19
1.4. Существующие способы и технические средства индивидуальной противотепловой защиты		25
1.5. Анализ методов определения теплового состояния спасателя и нормативов его работы при высоких эрготермических нагрузках.....		35
1.6. Цель и задачи исследований		41
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛО-ОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРОТИВОТЕПЛОЙ ЗАЩИТЕ С ОХЛАЖДЕНИЕМ ПРОТОЧНОЙ ВОДОЙ ..		43
2.1. Общие сведения		43
2.2. Методология и основные методы исследований		43
2.3. Исследования процесса воздействия теплового лучистого потока		48
2.4. Математическая модель теплообменных процессов в системе «окружающая среда - противотепловой костюм - организм спасателя»		60
2.4.1. Выбор расчетной схемы противотепловой защиты с охлаждением проточной водой и теплофизических характеристик материалов защитных слоев		60
2.4.2. Математическая модель процесса теплопередачи		64

2.4.3.	Численный метод решения задачи теплопроводности	67
2.4.4.	Результаты математического моделирования процесса на- гревания оболочки противотепловой защиты	72
2.5.	Определение параметров устройства водяного охлаждения противотепловой защиты	74
ГЛАВА 3.	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ПРОТИВОТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ С ОХЛАЖДЕНИЕМ ПРОТОЧНОЙ ВОДОЙ.....	82
3.1.	Общие сведения.....	82
3.2.	Методика проведения исследований и результаты энергети- ческих показателей	84
3.3.	Исследование теплового состояния пожарного-спасателя в тепловой камере	96
3.4.	Методика и результаты исследований на опытно- экспериментальном полигоне.....	107
ГЛАВА 4.	ПАРАМЕТРЫ ПРОТИВОТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ С ОХЛАЖДЕНИЕМ ПРОТОЧНОЙ ВОДОЙ И РАСШИРЕНИЕ ТАКТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ МЧС ПРИ РАБОТЕ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	113
4.1.	Общие сведения	113
4.2.	Конструктивные параметры и эксплуатационные характеристики противотепловой защиты с охлаждением проточной водой	114
4.3.	Расширение тактических возможностей пожарно- спасательных подразделений МЧС в условиях повышенных тепловых воздействий	121
4.4.	Расчет годового экономического эффекта от внедрения результатов работы.....	126

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	129
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	132
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Приказ о создании комиссии для проведения испытаний экспериментального образца. Программа и методика испытаний экспериментального образца ПТК КВО. 00.000 ПМ1.....	143
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Протокол испытаний экспериментального образца облегченного противотеплового костюма для спасателя с водяным охлаждением	162
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Акт испытаний экспериментального образца облегченного противотеплового костюма для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла	169
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Техническое задание на разработку облегченного противотеплового костюма для спасателя с водяным охлаждением	180
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Акт внедрения научно-технической продукции	185
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Акт внедрения в учебный процесс результатов диссертационной работы	186

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Пожары, как неконтролируемые процессы горения различных веществ и материалов, уничтожают материальные ценности, создают угрозу для жизни и здоровья людей, наносят ущерб окружающей среде.

Особую опасность пожары представляют личному составу пожарно-спасательных подразделений Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС).

Отсутствие на оснащении пожарно-спасательных подразделений МЧС противотепловой одежды, с активным охлаждением организма, существенно влияет на безопасность личного состава при тушении пожаров и ведении аварийно-спасательных работ.

Допустимая продолжительность пребывания спасателя при выполнении работы средней тяжести (разведка пожара, работа со стволом) в теплоотражающем костюме не должна превышать 10 мин, а в теплозащитном ТОК -800 – 16 мин, соответственно.

В связи с вышеизложенным исследования, направленные на создание противотепловой защиты, с охлаждением проточной водой из пожарного рукава, при работе в условиях повышенных температурных воздействий, приобретают особую актуальность.

Следовательно, установление закономерностей нестационарных теплообменных процессов в системе «окружающая среда – противотепловой костюм – организм спасателя», для обоснования параметров противотепловой защиты с водяным охлаждением, которое обеспечивает повышение безопасности труда при тушении пожаров является актуальной научно-технической проблемой.

Цель работы – установление закономерностей теплообменных процессов в системе «окружающая среда – противотепловой костюм – организм спасателя». Такие закономерности позволяют обеспечить повышение безопасности труда.

Для достижения поставленной цели возникла необходимость решения следующих основных задач:

– *провести* анализ условий работы и тактических приемов при тушении пожаров на объектах с высоким уровнем теплового излучения;

– *исследовать* процесс воздействия на организм спасателя лучистого потока от очага пожара и выбрать расчетную схему противотепловой защиты с охлаждением проточной водой;

– *разработать* математическую модель нестационарных теплообменных процессов в системе «окружающая среда – противотепловой костюм – организм спасателя» для исследования температурных полей в пододежном пространстве и определения параметров противотепловой защиты с охлаждением проточной водой;

– *экспериментально определить* значения энергетических показателей при различной степени тяжести выполняемой спасателем работы в противотепловой защите;

– *обосновать* параметры и создать противотепловую защиту спасателя с охлаждением проточной водой, обеспечивающую повышение безопасности его труда при проведении работ в условиях повышенных температурных воздействий.

Объект исследований – нестационарные теплообменные процессы в системе «окружающая среда – противотепловой костюм – организм спасателя».

Предмет исследований – конструктивные и эксплуатационные параметры противотепловой защиты спасателя с охлаждением проточной водой, обеспечивающей повышение безопасности его труда.

Методы исследований.

При выполнении настоящей диссертационной работы использован комплексный подход, содержащий анализ и обобщение результатов ранее полученных различными авторами, а также используемые ими теоретические и экспериментальные методы.

Положения, выносимые на защиту:

1. *Зависимости* для определения мощности тепловых лучистых потоков, воздействующих на спасателя от очага пожара, с учетом расстояния между спасателем и очагом пожара, площади и температуры очага пожара, коэффициента теплового облучения, величины лучистого потока, падающего и проникающего через наружную теплоотражающую оболочку противотепловой защиты.

2. *Математическая модель* теплообменных процессов в системе «окружающая среда – противотепловой костюм – организм спасателя», учитывающая воздействующие на наружную поверхность костюма и проникающие через него тепловые потоки от очага пожара, теплообмен между теплозащитными слоями с воздушной прослойкой, телом спасателя и системой охлаждения проточной водой.

3. *Противотепловая защита* с принципиально новым способом охлаждения – проточной по поливинилхлоридным трубкам водой, подаваемой из пожарного рукава, при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ. Использование такой защиты позволит повысить безопасность труда спасателей при выполнении работ в условиях высоких эрготермических нагрузок.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что автором впервые:

1. *Установлены* зависимости интенсивности тепловых лучистых потоков при одинаковом расстоянии от спасателя до очага пожара, линейного характера от величины площади горения, а также отношения падающего на наружную поверхность теплоотражательного слоя и проникающих через него потоков которые непропорционально увеличиваются в зависимости от температуры в очаге пожара.

2. *Разработана* математическая модель теплообменных тепловых потоков в системе «окружающая среда – противотепловой костюм – организм спасателя» в которой учтены воздействующие на наружную поверхность костюма и проникающие через него тепловые потоки от очага пожара, теплообмен между

теплозащитными слоями с воздушной прослойкой, телом спасателя и системой охлаждения проточной водой.

3. *Экспериментально* доказано, что при одинаковых параметрах воздуха окружающей среды, физической нагрузке спасателя время защитного действия созданной противотепловой защиты, по сравнению с используемыми подразделениями МЧС костюмами ТК-800, больше чем в четыре раза, а также превышает аналогичный параметр для ПТК-300 горноспасателей в два раза с одновременным уменьшением его массы в 1,3 раза.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в *разработке математической модели* теплообменных потоков в системе «окружающая среда – противотепловой костюм – организм спасателя» в которой учтены воздействующие на наружную поверхность костюма и проникающие через него тепловые потоки от очага пожара. Определены энергозатраты спасателей при выполнении ими работ различной степени тяжести. *Обоснованы параметры и создана противотепловая защита*, с охлаждением проточной водой, с более высоким временем защитного действия по сравнению с существующими для пожарных-спасателей и горноспасателей в настоящее время.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются: применением классических основ и законов термодинамики при исследовании процесса воздействия теплового лучистого потока от очага пожара на спасателя; теории теплопроводности – нестационарных процессов теплопереноса в системе «окружающая среда – противотепловой костюм – организм спасателя»; основ гидродинамики - при определении параметров водяного охлаждения и физиологии человека – энергозатрат спасателей; использованием при испытаниях противотепловой защиты в лабораторных и полигонных условиях современной метрологически поверенной контрольно-измерительной техники; удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Личный вклад соискателя состоит в: *проведении анализа* состояния проблемы, *формулировке* цели и постановке основных задач исследований,

научных положений и выводов; *разработке* математической модели нестационарных процессов тепломассопереноса в системе «окружающая среда – противотепловой костюм – организм спасателя»; *разработке* конструкции и изготовлении противотепловой защиты; *проведении* экспериментальных исследований в лабораторных и полигонных условиях, в качестве испытателя-добровольца; обобщении и систематизации результатов исследований.

Вклад автора в работы, опубликованные в соавторстве. В научных работах, опубликованных в соавторстве, автору принадлежат: в работе под номером [1] (согласно списку опубликованных по теме диссертации работ) – постановка задачи исследований, решение уравнения теплопроводности, анализ и обобщение полученных результатов; в [2, 12] – постановка задачи исследований, выбор модели очага пожара, определение тепловых потоков в зависимости от их расстояния, площади пожара и максимальной температуры горения; в [3, 5, 8] – разработка методики и участие в проведении исследований, обработка данных экспериментов, анализ и обобщение результатов графических и аппроксимирующих зависимостей энергетических показателей спасателей, определение параметров противотепловой защиты; в [9] – анализ состояния вопроса, описание средств комплексной противотепловой защиты спасателей при работе в условиях повышенных температурных воздействий; в [11] – отличительные признаки на полезную модель теплозащитного костюма.

Апробация результатов работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и получили одобрение на 5 Международных научно-практических конференциях.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 14 научных работах, из них 8 статей в специализированных научных изданиях, 5 – тезисов докладов в материалах научных конференций различного уровня, 1 – монография, 1 – патент на полезную модель.

ГЛАВА 1

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Общие сведения

Тушение пожаров осуществляется в специфической (сложной) обстановке: высокие температуры и мощные тепловые потоки, загрязнение атмосферы продуктами горения, возможное механическое воздействие на пожарного-спасателя элементами разрушающихся строительных конструкций. Эти весьма существенные обстоятельства являются опасными факторами пожара (ОФП). Если их параметры превышают некоторые критические значения, то они могут стать причиной травм пожарных, отравления и даже летальных исходов. Для ослабления влияния ОФП на пожарных-спасателей разработаны системы и средства защиты: средства защиты органов дыхания, дымососы, а также экипировка пожарных. При этом экипировка включает: боевую одежду пожарных (БОП), каску, средства индивидуальной защиты рук и специальную обувь.

В сложных условиях, при тушении крупномасштабных пожаров, используется специальная защитная одежда изолирующего типа или специальная защитная одежда от повышенных тепловых воздействий.

Боевую одежду пожарных, по уровню защиты от теплового воздействия, подразделяют на три уровня. Первый уровень такой одежды обеспечивает защиту от высокой температуры, тепловых потоков большой интенсивности и возможных выбросов пламени. Одежда второго уровня защищает от высокой температуры и тепловых потоков, а третьего – от тепловых воздействий невысокой интенсивности.

Следует отметить, что данная классификация вошла в нормы пожарной безопасности (НПБ 157-99 «Боевая одежда пожарного. Общие технические

требования. Методы испытаний.») и должна учитываться при разработке норм снабжения специальной одеждой личного состава ГПС МЧС России.

Анализ работ, по эффективности применения существующей в настоящее время противотепловой боевой одежды пожарных первого уровня, показал, что она в полной мере не выполняет требуемых функций. Прежде всего, это связано с ограниченным временем ее действия. Это несет угрозу здоровью и жизни пожарных, а также к срыву выполнения задач по локализации и ликвидации крупномасштабных пожаров.

1.2. Анализ условий и тактических приемов тушения пожаров на объектах с повышенным тепловым воздействием

Мониторинг состояния пожаров свидетельствует о том, что десятилетняя динамика общей численности пожаров характеризуется тенденцией их роста (рисунок 1. 1) [1].

Так, например в 2014 году государственные пожарно-спасательные подразделения Оперативно-спасательной службы гражданской обороны МЧС выезжали по сигналу «Тревога» 175 649 раз, что составило 482 выезда за сутки. В среднем один выезд осуществлялся каждые 3 мин.

Непосредственно на ликвидацию пожаров аварийно-спасательные подразделения осуществили свыше 68800 выездов. Это составило 188 выездов в сутки или 7,8 выезда в течение одного часа.

Динамика количества травмированных и погибших вследствие пожаров, на протяжении 2005 – 2014 годов, представлена на рисунке 1.2.

Количество погибших на 100 тыс. населения в Украине составило в 2014 г. - 5,2 человека, что значительно превышает аналогичный показатель в России и США.

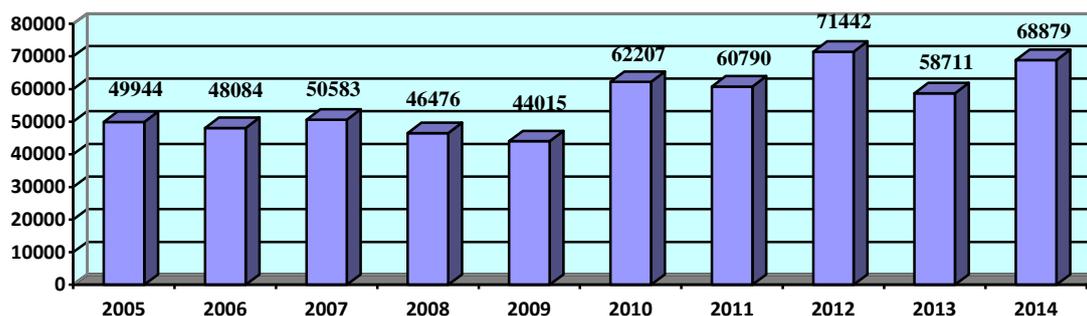


Рисунок 1.1 - Динамика количества пожаров за 2005-2014 годы

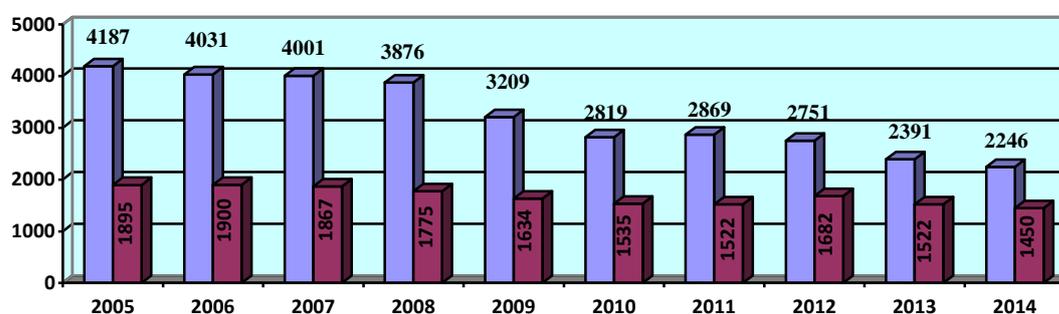


Рисунок 1.2 - Динамика количества травмированных и погибших вследствие пожаров за 2005-2014 годы

Профессия спасателя является одной из наиболее рискованных в перечне профессионального риска. Это связано с тем, что тушение пожаров при высоких температурах, влажности, задымленности атмосферы, зачастую при значительных физических нагрузках, нервном напряжении, другими словами - при высоких эрготермических и психоэмоциональных нагрузках воздействующих на спасателя.

Пожарные-спасатели, в ходе ликвидации пожаров и ЧС, подвергаются воздействию множества самых различных опасных и вредных факторов, характерных также и для промышленных объектов – движущиеся машины и механизмы, электрический ток, повышенная температура поверхностей

оборудования, повышенные уровни шума, вредные газы, жидкие химические вещества, недостаточная освещенность рабочей зоны и др. [2].

Вместе с тем, наиболее вероятным факторами, воздействующими на спасателя на пожаре, являются: открытое пламя и повышенная температура окружающей среды [3].

Расследования несчастных случаев показывают, что около 29 % спасателей при тушении пожаров и ликвидации последствий аварий получали травмы в результате воздействия открытого пламени или интенсивного лучистого теплового потока. Например, в ходе тушения пожара, возникшего 8 июня 2015 г. на территории нефтебазы ООО «БРСМ-нефть» в пгт. Глеваха, Васильковского района Киевской области, в результате воздействия теплового излучения и конвективных потоков от горящего топлива, пострадало 20 человек, из них шесть человек погибли [4].

В ходе тушения пожара, на протяжении двух недель, огнем было повреждено четыре пожарных автомобиля. [4]. Территория вокруг объекта была заражена токсичными веществами, оказывающими негативное влияние на здоровье проживающих рядом людей. По 700 искам, от пострадавших жителей поселка, удовлетворены требования на сумму примерно на 60-70 млн. грн. Однако, юристы будут добиваться удовлетворения полной суммы исков, которая будет намного больше, порядка 500 млн. грн. Мониторинг экологического загрязнения воды и грунта обойдется в 532 тыс. грн. А очистка их на протяжении ряда лет будет обходиться государству в 300 тыс. грн. ежегодно.

В ходе тушения пожара в обваловании и резервуара вертикального стального (РВС) – 10000 в г. Кириши Ленинградской области в марте 1986г., с неоднократным проведением пенных атак, его ликвидация осуществлялась на протяжении четырех суток. При этом, в результате разлива нефтепродукта за пределы обвалования, два десятка пожарных получили ожоги, сгорел один пожарный автомобиль и один автомобиль КамАЗ, обеспечивающий подвоз песка.

При пожаре в Останкинской телебашне в августе 2000 г. погибли трое участников его тушения, многие спасатели получили термические поражения.

При ликвидации пожара в складских помещениях, расположенных по ул. Амурской г. Москвы 22 сентября 2016 г., в результате обрушения кровли на площади около 1,5 тыс. м², погибли 8 спасателей МЧС.

Во всех этих случаях у пожарных-спасателей отсутствовали надежные средства индивидуальной противотепловой защиты. Это явилось причиной ограниченного времени защитного действия, и как следствие, к потере здоровья и жизни спасателей, значительным затратам на их лечение, выплатам по профессиональному заболеванию.

Пожар это комплекс физико-химических явлений, в основе которых лежат процессы горения, тепло - и массообмена.

Для всех видов пожаров можно выделить характерные признаки и явления:

- пожар происходит с выделением большого количества тепла продуктов горения;

- приток свежего воздуха (кислорода) в зону горения и отвод из нее продуктов горения (СО₂, Н₂О и др.);

- передача тепла из зоны горения в окружающее пространство, без которого невозможно непрерывное самопроизвольное продолжение процесса горения и распространения пожара. Это приводит к потере механической прочности несущих конструкций и их обрушению, взрыву сосудов и резервуаров с горючими жидкостями и газами и т.д. Тепло от очага пожара усложняет обстановку, затрудняет ведение аварийно-спасательных работ по его локализации и тушению.

Для успешного тушения пожаров необходимо знать динамику развития пожаров, как в помещениях, зданиях и сооружениях, так и на открытом пространстве, на транспортных средствах, на объектах с повышенной опасностью.

Процессы развития пожара можно разделить на несколько стадий [5, 6].

Начальной стадии соответствует развитие пожара от источника возгорания до момента, когда помещение будет полностью охвачено пламенем. На этой стадии происходит нарастание температуры в помещении и снижение плотности газов в нем. При этом количество удаляемых газов через проемы больше, чем количество поступающего воздуха вместе с перешедшими в газообразное состояние горючими материалами.

На начальной стадии пожара воздух и продукты горения в помещении увеличиваются в объеме, создается избыточное давление до нескольких десятков Паскалей, в результате этого газовая смесь выходит из него через неплотности в стыках строительных конструкций, зазоры в притворах дверей, окон, воздуховоды и т.д. Если помещение в достаточной мере изолировано от окружающей среды, например, не нарушено остекление наружных проемов или они вообще отсутствуют, плотно закрыты двери и перекрыты заслонки на воздуховодах, развитие процесса горения в нем может замедлиться или прекратиться вообще. В противном случае, на начальной стадии пожара горение распространяется на значительную площадь помещения, прогреваются конструкции и материалы, среднеобъемная температура в помещении поднимается до 200-300°C, в дыму возрастает содержание оксида и диоксида углерода, происходит интенсивное дымовыделение и снижается видимость.

В зависимости от объема помещения, степени его герметичности и распределения пожарной нагрузки начальная стадия развития пожара продолжается (5...40) мин (иногда и больше – до нескольких часов). Однако, следует отметить, что опасные для человека условия возникают уже через (1...6) мин.

Эта стадия пожара, как правило, не оказывает существенного влияния на огнестойкость строительных конструкций, поскольку температура еще сравнительно невелика.

В связи с тем, что линейная скорость распространения пламени является величиной не постоянной и зависит от множества факторов, в т.ч. от стадии развития пожара, при практических расчетах геометрических параметров пожара

в расчете сил и средств тушения в первые 10 минут развития в закрытых помещениях, она принимается с коэффициентом 0,5. Уменьшение линейной скорости развития пожара в два раза отражает факт замедления процесса горения на первой стадии.

Основной стадии развития пожара в помещении соответствует повышение среднеобъемной температуры до максимума. На этой стадии сгорает 80-90 % объемной массы горючих веществ и материалов, температура и плотность газов в помещении изменяется во времени незначительно. Данный режим развития пожара называется квазистационарным (установившимся). При этом расход удаляемых газов из помещения приблизительно равен притоку поступающего воздуха и продуктов пиролиза.

На последней стадии пожара завершается процесс горения материалов и постепенно снижается среднеобъемная температура. Количество уходящих газов становится меньше, по сравнению с количеством поступающего воздуха.

Тушение пожара начинают, как правило, через (10...15) мин после извещения о пожаре, т.е. через (15...20) мин после его возникновения. Необходимо учитывать (3...5) мин до срабатывания системы сигнализации о пожаре; (5...10) мин, а то и больше – следование на пожар пожарно-спасательных подразделений, (3...5) мин - разведка и боевое развертывание. Тактико-технические действия, как правило, начинаются на третьем, а иногда и на четвертом этапе развития пожара, когда его параметры достигли наибольшей интенсивности своего развития.

Пожар развивается на определенной площади или в объеме и может быть условно разделен на три зоны, не имеющих, однако, четких границ: горения, теплового воздействия и задымления.

Зона горения - это часть пространства, в котором протекают процессы термического разложения или испарения горючих веществ и материалов (твердых, жидких, газов и т.д.) в объеме диффузионного факела пламени. Горение может быть пламенным (гомогенным) и беспламенным (гетерогенным). При пламенном горении границами зоны горения являются поверхность горящего

материала и тонкий светящийся слой пламени (зона реакции окисления), при беспламенном — раскаленная поверхность горящего вещества.

Зона теплового воздействия - это часть пространства, примыкающая к зоне горения, в котором тепловое воздействие приводит к заметному изменению свойств материалов и конструкций и делает невозможным пребывание в нем людей без специальной противотепловой защиты (костюмов, отражательных экранов, водяных завес и т.п.). По температуре граница зоны теплового воздействия принимается в той части пространства, где температура среды превышает 40 °С. При такой температуре становится невозможным длительное пребывание людей, тем более, выполнение ими активных тактико-технических действий без использования специальных средств индивидуальной противотепловой защиты.

Для пожаров со средней интенсивностью их развития, при современном вооружении спасателя при тушении пожара (например, стволом тонкораспыленной воды, воздушно-механической пеной) это время условно можно принять равным 15 сек. При этом, по экспериментальным данным, за дальнюю границу зоны теплового воздействия можно условно принять интенсивность лучистого потока от очага пожара равным приблизительно 3,5 кВт/м².

Зона задымления - это часть пространства, примыкающая к зоне горения и заполненная дымовыми газами с концентрацией, которые создают угрозу жизни и здоровью людей или затрудняют действия пожарно-спасательных подразделений МЧС. Как правило, это самая большая часть пространства на пожаре, так как дым разносится на значительные расстояния.

Тактические приемы ликвидации пожаров находятся в тесной связи с развитием средств и способов тушения. Техника тушения пожаров продолжает развиваться по пути различной реализации известных трех принципов: охлаждения зоны горения; отделения или изоляции горения от сгораемого материала; прекращения доступа кислорода в область горения. Таким образом, изъятие одного из трех элементов процесса горения приводит к его прекращению.

Наиболее распространенным способом тушения пожаров остается способ охлаждения. Основным огнетушащим средством его реализации является вода, подаваемая пожарными стволами в виде сплошных и распыленных струй.

В практических расчетах (если не указаны другие условия) рабочий напор у ручных стволов равен 0,4 МПа, а у лафетных – 0,6 МПа.

Ручные пожарные стволы, для формирования сплошных и распыленных струй воды, в зависимости от конструктивных особенностей и основных параметров подразделяются на типоразмеры D_y 50 и D_y 70 с различными диаметрами насадок.

Технические характеристики стволов, формирующих сплошную водяную струю, представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Технические характеристики пожарных стволов РС-50 и РС-70

Показатели	Ручные пожарные стволы	
	РС-50	РС-70
Диаметр насадка, мм	13	19
Расход воды при давлении 0,4 МПа, л/с	3,6	7,4
Дальность водяной струи, м	28,0	32,0
Масса, кг	0,7	1,5

Расстояние от пожарного-спасателя до фронта пламени сокращается в зависимости от подаваемого огнетушащего средства и высоты перекрытия при тушении пожара в ограждениях или объекта (штабеля, резервуара и т.п.) при тушении пожара вне ограждений.

В ходе ликвидации последствий аварий на промышленных объектах очень часто, до начала процесса тушения пожара, необходимо перекрывать запорную арматуру в целях предотвращения загазованности территории. Облако взрывоопасных газов, образовавшееся после тушения пожара, при наличии источника воспламенения, может привести к взрыву с последующими разрушениями конструкций и гибели людей, находящихся в прилегающих

зданиях и территориях. Для выполнения работ по отключению поврежденных аппаратов и арматуры спасателям приходится находиться в зоне повышенных температурных воздействий.

В ряде случаев для проведения аварийно-спасательных работ, подачи средств тушения, управления процессами воздухообмена на пожаре необходимо проводить работы по вскрытию конструкций. Продолжительность такого вида работ в противотепловой одежде без охлаждения зачастую является недостаточной.

Следовательно, создание безопасных условий труда пожарных-спасателей было и остается актуальным и требует своего решения на общегосударственном уровне.

При этом наиболее опасными чрезвычайными ситуациями являются пожары, которые приводят к значительным материальным убыткам, большому количеству потерпевших и гибели людей, в том числе личного состава пожарно-спасательных подразделений, который принимал участие в ликвидации пожаров и проведении аварийно-спасательных работ.

1.3. Эрготермические нагрузки на пожарных-спасателей при ведении аварийно-спасательных работ

Основными задачами пожарного-спасателя при тушении пожаров и ведении аварийно-спасательных работ являются: спасание людей, проведение разведки и тушение пожара в помещениях с непригодной для дыхания средой.

Проводимые им работы связаны с опасностью травмирования и риском для жизни вследствие возможных взрывов и обрушения конструкций, ограниченной видимости или полным ее отсутствием, высокой температуры, с высокой влажностью воздуха. При работе в защитных дыхательных аппаратах, теплоотражающих и особенно теплозащитных костюмах пожарные-спасатели испытывают большую физическую нагрузку, значительное напряжение всех

функциональных систем организма, в том числе терморегуляции, психологического воздействия на нервную систему.

Физические нагрузки, при тушении пожаров и ликвидации аварий, относятся к категории тяжелого физического труда.

В настоящее время тушение пожаров, в большинстве случаев, проводят с использованием ручного труда (прокладка рукавных линий, работа со стволами и пеногенераторами, вскрытие конструкций, спасение людей, эвакуация имущества и т. д.), а объем так называемой, малой механизации (бетоноломы, ножницы для резания арматуры, пневматические перфораторы, электродолбежники, механические пилы и т. д.), является небольшим. Использование респиратора (противогаза изолирующего типа) увеличивает энергетические затраты человека примерно на (25...27) % [7]. Характеристика некоторых работ пожарных по степени тяжести, в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88, приведена в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Характеристика работ пожарных на пожаре по степени тяжести

Вид работы	Степень тяжести
1. Спасание людей (вынос пострадавших)	тяжелая
2. Разведка	средняя
3. Эвакуация имущества (материалов, сосудов)	тяжелая
4. Перемещение с рукавной линией под напором воды	тяжелая
5. Работа со стволом	средняя
6. Работа с пеногенератором	тяжелая
7. Раскрытие конструкций (вручную и механическим инструментом)	тяжелая
8. Перекрытие вентилях аппаратов и трубопроводов	средняя
9. Перекрытие технологических задвижек при работе в теплозащитном костюме	тяжелая

Работа в аппаратах сжатого воздуха и кислородных изолирующих противогазах (КИП), которыми оснащены пожарно-спасательные подразделения [8], занимает особое место. Она создает при пожарах специфические условия

дыхания и влияет на физиологические функции организма спасателя благодаря вдыханию газовых смесей с высоким содержанием кислорода и водяного пара, иногда с повышенным содержанием двуокиси углерода и высокой температурой вдыхаемого воздуха. При этом дыхательная система КИП создает повышенное сопротивление дыханию спасателя.

При работе в дыхательных аппаратах со сжатым воздухом [9] организм спасателя испытывает меньше неблагоприятных факторов, к которым относятся: сопротивление дыханию, вредное пространство маски и масса аппарата защиты органов дыхания.

В зависимости от условий возникновения и развития пожаров, их характера и особенностей объекта, работа звеньев пожарных-спасателей проводится как в обычной атмосфере, так и в сильно задымленной, непригодной для дыхания среде. В последнем случае ее выполнение без применения дыхательных аппаратов невозможно.

Характер проводимых работ и их удельный вес, в общем объеме аварийно-спасательных работ, представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Характеристика проводимых работ и их удельный вес при тушении пожаров в аппаратах защиты дыхания

Виды работ	Процент от общего количества работ		Средняя длительность работы, мин
	по частоте	по длительности	
1. Разведка	32,3	17,5	9,1
2. Спасание людей	4,8	2,7	9,5
3. Работа с водяными стволами	31,7	46,6	24,8
4. Работа с пенными стволами	3,3	5,1	26,0
5. Разборка конструкций	15,3	16,0	17,6
6. Разборка завалов	5,0	4,9	16,0
7. Эвакуация материальных ценностей	7,6	7,2	16,0

Анализ проводимых работ показывает, что разведка пожара и работы по его тушению составляют примерно 67 % случаев и занимают по длительности около 70 % времени ликвидации пожара. Значительно меньший удельный вес приходится на работы по разборке конструкций и завалов – около 20 %, эвакуация материальных ценностей – около 7,6 %, а спасание людей на пожарах – 4,8 %.

Средние величины, которые характеризуют количество работ, выполняемых звеньями спасателей в аппаратах защиты дыхания (АЗД), в процентах к общему числу работ на пожарах, в зависимости от их длительности, а также распределение работы звеньев (в зависимости от их длительности) при однократном включении в АЗД приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - Относительное количество работ в АЗД (1) и однократного включения в АЗД (2) в зависимости от длительности работы спасателей

1	Длительность работы, мин	до 30	до 60	до 90	до 120	до 180	более 180	–
	Количество работ в АЗД, %	56,7	30,8	5,3	3,7	0,9	2,6	–
2	Длительность работы, мин	до 15	до 30	до 45	до 60	до 90	до 120	более 120
	Количество случаев работы при однократном включении в АЗД, %	35,2	41,2	15,6	6,0	1,3	0,4	0,3

Следовательно, наибольшее количество работ в противогазах при многократном включении в противогаз (56,7 %) и при однократном - (41,2 %) выполняли при длительности работ до 30 мин.

При интенсивности обмена веществ в организме спасателя в спокойном состоянии, равной 87 Вт, у спасателя при выполнении физической работы в теплозащитном костюме она может вырасти до (700...800) Вт, при этом примерно (80...85) % ее превращается в теплоту [10].

При нормальных и низких температурах окружающей среды, пока температура поверхности кожи пожарных-спасателей выше температуры воздуха, теплоотдача происходит путем конвекции, кондукции и радиации. Высокая температура окружающей среды вызывает нагревание кожных покровов и, если температура кожи ниже температуры воздуха, то теплоотдача этими путями прекращается и происходит только путем потовыделения. При испарении каждого грамма воды с поверхности кожи организм человека отдает 2,43 кДж. Однако интенсивность потовыделения зависит от разницы парциальных давлений водяного пара над поверхностью кожи и в окружающем воздухе. При относительной влажности 100 % испарение, как правило, прекращается [10].

При высокой температуре окружающей среды и тяжелой физической нагрузке, увеличение скорости движения воздуха в зоне пожара увеличивает нагревающий эффект.

Влияние теплового излучения на организм человека имеет ряд особенностей, в сравнении с эффектом высокой температуры воздуха, который его нагревает. В первую очередь, это более глубокое прогревание, которое приводит к повышению температуры кожи, тканей и внутренних органов. К важнейшим последствиям теплового воздействия следует отнести возникновение ожогов. При использовании боевой одежды значительная часть теплового излучения задерживается и не достигает кожи в течение некоторого промежутка времени. Однако, отсутствие специальной поверхности, которая отражает, приводит к быстрому нагреванию одежды, которая вызывает накопление теплоты в организме. В теплоотражающих и теплозащитных костюмах, имеющих металлизированное покрытие, которое отражает лучистый тепловой поток, организм пожарного некоторое время не перегревается при высокой тепловой радиации. Поэтому, если его мощность излучения в зоне работы не превышает $4,2 \text{ кВт/м}^2$, спасатели могут работать в боевой одежде и касках с защитными щитками. При более высоком значении работа должна проводиться в теплозащитном костюме (ТЗК) под прикрытием водяных распыленных струй, которые снижают прохождения лучистой теплоты.

Условия среды на пожарах, по степени опасности для пожарного, можно условно подразделить на три зоны [7].

Первая зона, характерна для условий, которые создаются на достаточном удалении от фронта пламени: температура не превышает (60...70) °С, тепловая радиация - (1,2...4,1) кВт/м².

Вторая зона характеризуется опасными условиями, которые возникают внутри пылающего помещения или вблизи фронта пламени, верхняя граница температуры этой зоны около 300 °С, тепловая радиация - (4,2...14,0) кВт/м².

Третья зона характеризуется чрезвычайно опасными условиями, которые возникают, например, при общей вспышке в помещениях зданий, сооружений или при взрыве. При этих условиях температура достигает 1000 °С и больше, а радиация - (100...200) кВт/м².

При работе во 2-й и 3-й зонах без дыхательных аппаратов и теплозащитной одежды, у спасателей могут появляться поражения легких и тела, а также поверхностные повреждения одежды. Во всех этих трех зонах может наступить тепловое поражение при достижении предельных значений ректальной температуры тела 38,6 °С и частоты сердечных сокращений – 170 мин⁻¹.

При температуре сухого воздуха равной 150 °С дыхание становится затруднительным, температура 160 °С вызывает ожог сухой кожи через 30 с, а 180 °С – нестерпимую боль. При радиации равной 2 кВт/м² ожег кожи второй степени наступает через 100 с, а при 10 кВт/м² – через 10 с [10].

Из вышеизложенного следует, что пожарные-спасатели, в основном, проводят работы, которые относятся к категории «тяжелой», в условиях высоких температур (до 1000 °С и больше) и тепловой радиации (до 200 кВт/м²) с длительностью при разведке и тушении пожара, около 35 мин. При этом в литературных источниках не приводятся данные об энергозатратах спасателей при выполнении в таких условиях различных видов работ.

Рассмотрим эффективность защиты пожарных-спасателей МЧС существующими термостойкими противотепловыми средствами, которые находятся на их оснащении, с учетом высоких тепловых воздействий и тяжести

производимых работ, а также аварийно-спасательных подразделений других отраслей, в т.ч. и за рубежом.

1.4. Существующие способы и технические средства индивидуальной противотепловой защиты

Безопасность деятельности пожарных-спасателей, в условиях высоких температур, достигается комплексом нормативно-профилактических мероприятий, направленных на регламентацию длительности и тяжести труда, параметров микроклимата, повышения физической, психологической подготовленности и тепловой стойкости, применения средств индивидуальной противотепловой защиты. В аварийной обстановке нормализация микроклимата на месте ведения аварийно-спасательных работ, как правило, невозможна, и на первый план выступают мероприятия относительно использования средств индивидуальной противотепловой защиты и нормирования труда.

В настоящее время для защиты органов дыхания спасателей применяют два типа изолирующих дыхательных аппаратов: со сжатым воздухом (ДАСВ), без регенерации дыхательной смеси (открытый цикл) и со сжатым газообразным кислородом (КИП) с регенерацией дыхательной смеси (закрытый цикл). При этом используют ДАСВ следующих типов: АСВ-2, ВЛАСТЬ, «Украина», ЛАНА и др., а также КИП: КИП-8, Р-30, Луганск-2 и др. [11, 12].

Для создания безопасных условий работы спасателей при тушении пожара применяют боевую одежду, которая трудно воспламеняется, а для их защиты от тепла – два вида костюмов: теплоотражательный (ТОК) и теплозащитный (ТЗК), разработанные сотрудниками бывшего ВНИИПО МВД СССР [13-17].

ТОК предназначен для защиты спасателей от теплового излучения до 14 кВт/м^2 при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ. Он не является средством защиты от непосредственного влияния пылающих газов, пламени и может использоваться для работы в непосредственной близости от поверхности пламени, раскаленных конструкций домов, сооружений и

материалов в течение (2...3) мин. В комплект костюма входят куртка, брюки с бахилами и капюшон с пелериной. При работе во вредной для органов дыхания атмосфере применяется противогаз или аппарат со сжатым воздухом, который надевается поверх куртки под капюшон, выполненный заодно с пелериной.

Теплозащитный костюм предназначен для защиты спасателей от высокой температуры и пламени при тушении пожаров. Он может быть использован для работы на границе пламени. ТЗК состоит из комбинезона с отсеком дыхательного аппарата, капюшона, однопалых рукавиц и сапог. Противотепловая защита осуществляется за счет использования многослойного пакета тканей и утеплителя. Внешний слой изготовлен из металлизированной ткани. Костюм применяется в комплекте с КИП или АСВ.

Для тушения пожаров в зоне тепловой радиации равной (4,2...14,0) кВт/м² спасатели используют ТОК, а свыше 14 кВт/м² – ТЗК [14].

Допустимая длительность работы средней тяжести (разведка пожара, работа со стволом, прокладка рукавной линии, разборка строительных конструкций и т.п.) в ТЗК при тепловых потоках 10,5, 7,0 и 4,2 кВт/м², соответственно не больше 10, 15 и 20 мин, а при тяжелой работе (передвижение со стволом, перенесение груза, разборке конструкций и т.п.) при этих же условиях – 8, 12 и 16 мин [18].

Допустимая продолжительность работы средней тяжести в ТЗК (ТК-800), в зоне с температурой среды до 650°С и тепловым потоком (35...59) кВт/м², не должна превышать 13 мин, а при работе тяжелой в этих условиях – 9 мин. При этом спасатель должен ежеминутно изменять свою ориентацию относительно фронта пламени в пределах 180°.

Допускается кратковременный контакт с пламенем (температура 800 °С и выше, тепловой поток (85...90) кВт/м²). Разрешается заход в пламя на время не более 15 с, общее время выполнения работ должно быть не более 1 мин. При этом это время должно входить в общую продолжительность работы в ТЗК.

При менее жестких тепловых условиях в зоне работы, когда тепловой лучистый поток принимает значения (14...35) кВт/м², время работы пожарного в ТЗК не должно превышать 20 мин.

При необходимости применения ТЗК при высокой температуре вне зоны влияния тепловой радиации, допустимое время работы ограничивается: при температуре (200...230) °С продолжительность работы не должна превышать 15 мин, при (100...120) °С – не более 20 мин.

Пользуясь табличными данными о мощности теплового потока, в зависимости от площади горения нефтепродуктов и расстояния до фронта пламени, а также при горении сжиженного газа, и, учитывая тяжесть выполняемой работы, руководитель может ориентировочно рассчитать допустимое время работы в ТОК и ТЗК для конкретных условий, а также определить количество необходимого резерва звеньев пожарных-спасателей для успешного тушения пожара.

Продолжительность непрерывной работы спасателей в противогазах и спецодежде, которая допускается при отсутствии тепловой радиации, зависит от температуры окружающей среды, относительной влажности и скорости движения воздуха [19]. Без учета последнего фактора допустимое время работы пожарных для наиболее типичных условий, которые возникают на пожарах в помещениях, по трем диапазонам относительной влажности воздуха приведено в таблице [18].

Продолжительность работы спасателей при тушении пожаров и ликвидации аварий в непригодной для дыхания среде, в условиях повышенных температурных воздействий и тепловой радиации, ограничена, но в таблице не указаны, их значения. При этом не учитываются энергозатраты спасателя при выполнении им работ различной степени тяжести.

В последние годы пожарно-спасательные подразделения МЧС оснащались противотепловой одеждой, разработанной и изготовленной бывшим научно-производственным предприятием «Индекс».

Основные технические характеристики костюмов «МЕЧТА», «Индекс-1» и «Индекс-1200» приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 - Основные технические характеристики термостойких противотепловых костюмов предприятия «МРИЯ-ИНВЕСТ»

Показатель	Значение показателя костюмов		
	«МЕЧТА»	«Индекс-1»	«Индекс-1200»
1. Температурный диапазон эксплуатации, °С	-30...+200	-50...+200	-50...+1200
2. Стойкость к влиянию температуры окружающей среды, с, не менее	до 300 °С - 150 до 200 °С - 240	200 °С - 900	1200 °С - 300 200 °С - 1200
3. Стойкость к влиянию теплового лучистого потока, с, не менее	5 кВт/м ² - 240 40 кВт/м ² - 5	40 кВт/м ² - 30 18 кВт/м ² -900 10 кВт/м ² -1200	40 кВт/м ² -600 20 кВт/м ² -1200
4. Стойкость к контакту с нагретыми поверхностями, с, не менее	400 °С - 30	400 °С - 5	1200 °С - 10
5. Стойкость к влиянию открытого пламени, с, не менее	15	20	300
6. Водонепроницаемость	водонепроницаемый	водонепроницаемый	водонепроницаемый
7. Морозоустойчивость, °С	-40	-50	-50
8. Масса, кг, не более	2,5	4,5	12,0

Имеющиеся на оснащении подразделений МЧС теплоотражающие и теплозащитные костюмы обладают ограниченным временем защитного действия, областью применения и, естественно, не отвечают современным требованиям к безопасности труда спасателей при тушении крупномасштабных пожаров и проведении аварийно-спасательных работ в условиях высоких температур.

Разработанная фирмой «Индекс» термостойкая одежда имеет хорошие показатели по теплофизическим характеристикам, однако в таблице 1.5 не приведены нормативы допустимой продолжительности работы пожарных-

спасателей в условиях повышенных тепловых воздействий и не учитываются их энергозатраты при выполнении работ различной степени тяжести.

В связи с тем, что задачи, которые стоят перед пожарными и горноспасательными подразделениями, очень близки, рассмотрим, как решались эти вопросы для отечественных горноспасателей, а также за рубежом.

В соответствии с нормативным документом [20] горноспасательные работы в спецодежде с регенеративными респираторами [21-24] выполняют при температуре шахтного воздуха 26 °С, а при более высоких ее значениях необходимо применять средства индивидуальной противотепловой защиты с охлаждением.

Для горноспасателей была разработана и использована на практике исключительно автономная и частично полуавтономная [25-28] противотепловая одежда (ПТО). Тенденция использования в горноспасательном деле исключительно автономных средств защиты была продолжена и в дальнейшем (костюмы ПТК-100, ТК-60М, КР-150, противотепловые куртки ТК-40) [29-32].

По виду применяемых охлаждающих средств известны отечественные модели ПТО с обдувом пододежного пространства охлажденным воздухом с: углекислотным льдом, который сублимируется; со сжиженным газом, который испаряется. Однако наибольшее распространение как охлаждающее средство получил водяной лед, который размещается в отдельном резервуаре или в виде водоледных охлаждающих элементов (ОЭ), которые размещены локально в пододежном пространстве (куртки ТК-40, ТК-50, костюмы ПТК-80, ПТК-100, ПТК-300, ТК-60М).

По способу теплосъема с поверхности тела человека наиболее эффективной является, так называемая «водяная рубашка», которая состоит из большого количества тонких эластичных пластмассовых трубок, которые облегают все тело человека или его отдельные части. По трубкам специальным насосом прокачивается хладоноситель – охлажденная жидкость. Такое техническое решение для горноспасательной ПТО заимствовано из космических скафандров [33] и применено в автономном костюме ПТК-100.

Опытную партию (10 ед.) костюмов ПТК-100, с циркулирующей охлажденной водой вокруг всего тела горноспасателя с помощью насосов, которые расположены под ступнями ног. Общая масса снаряжения костюма – около 38 кг, а время его защитного действия при температуре воздуха 100 °С – 60 мин. Такой способ теплоотвода имел ряд недостатков. В основном это относится к сложности конструктивного исполнения, условий эксплуатации, большой массы, что в дальнейшем привело к отказу от применения таких костюмов.

Одним из наиболее простых, надежных и эффективных способов охлаждения является размещение под одеждой водоледяных охлаждающих элементов (ОЭ) с небольшим гарантированным зазором относительно поверхности тела человека (костюмы ТК-60М, ПТК-80, ПТК-300, куртки ТК-40, ТК-50).

В последнее время горноспасатели используют ОЭ-2 (рисунок 1.3). Он представляет собой 4-х секционную ампулу, выполненную из полиэтиленовой пленки методом сварки, заполненную питьевой водой и герметически заваренную между секциями и по краям [36]. С учетом применения ОЭ-2 для горноспасателей создана противотепловая одежда [35-39], технические характеристики моделей которой, усовершенствованы в последние годы в НИИГД «Респиратор». Характеристики такой противотепловой одежды приведены в таблице 1.6.



Рисунок 1.3 - Водоледяной аккумулятор холода – охлаждающий элемент ОЭ-2

Обслуживание каждого из вышеприведенных типов ПТО осуществляют с применением стандартного или специально разработанного оборудования. В частности, при эксплуатации существующего в настоящее время ПТО, в котором применяется ОЭ-2, для замораживания используют стационарные морозильные камеры, которые находятся на оснащении подразделений горноспасательной службы.

Таблица 1.6 - Технические характеристики моделей противотепловой одежды с водоледяными охлаждающими элементами ОЭ-2

Показатель	Тип ПТО			
	ТК-50	ТК-60М	ПТК-80	ПТК-300
1	2	3	4	5
Масса ПТО, кг	4,3	12,0	14,5	20,0
В том числе масса ОЭ-2, кг	2,8	6,2	6,9	7,6
Полная масса снаряжения с респиратором, светильником, аппаратурой связи и термометром, кг	21,3	24,0	28,5	33,5
Степень черноты поверхности ПТО	0,9	0,5	0,5	0,3
Время защитного действия, мин, при температуре, °С				
30	150	130	–	–
40	40	130	–	–
50	30	110	130	–
60	10	90	105	(130)*
80	–	–	90	(110)
110	–	–	70	(85)
150	–	–	45	(55)
220	–	–	–	(35)
300	–	–	–	(25) 20
Срок службы (при применении не более 20 раз), лет	5	5	5	5

* В скобках приведены результаты теоретических исследований.

В связи с тем, что при сложных авариях и длительных работах в зонах высоких температур необходимо использовать очень большое количество ОЭ-2, разработан и эксплуатируется мобильный комплекс противотепловых средств (МКПС) «Зима-А» (рисунок 1.4) [40]. Он состоит из резервуара с жидким азотом АГУ-3М, установленном на автомобиле с прицепом, на котором размещены морозильная установка для замораживания ОЭ-2 и вспомогательное оборудование [40,42].

Замораживание ОЭ-2 выполняется по пути на аварийную шахту, а потом их доставляют к месту ведения работ в специальных контейнерах-сумках (рисунок 1.5) или в вагонетках-термосах (рисунок 1.6) [43].

В настоящее время в подразделениях горноспасательной службы МЧС ДНР используются три таких комплекса.

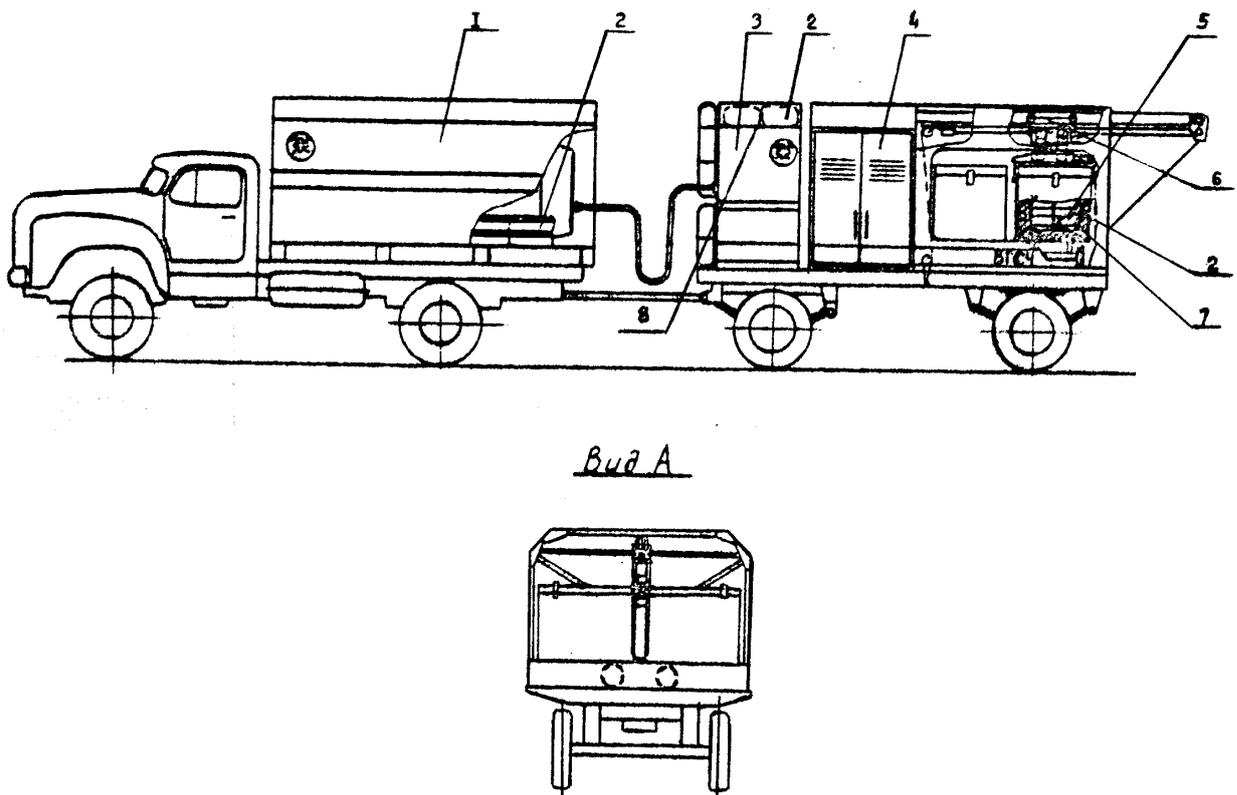


Рисунок 1.4 - МКПС «Зима-А»:

- 1 – автомобиль ЗИЛ-130 с АГУ-2М; 2 – контейнеры; 3 – холодильник; 4 – шкаф;
5 – вагонетка-термос; 6 – устройство грузоподъемное; 7 – охлаждающие
элементы; 8 – комплект ЗИП; 9 – прицеп.



Рисунок 1.5 – Общий вид переносного теплоизолирующего контейнера К-2

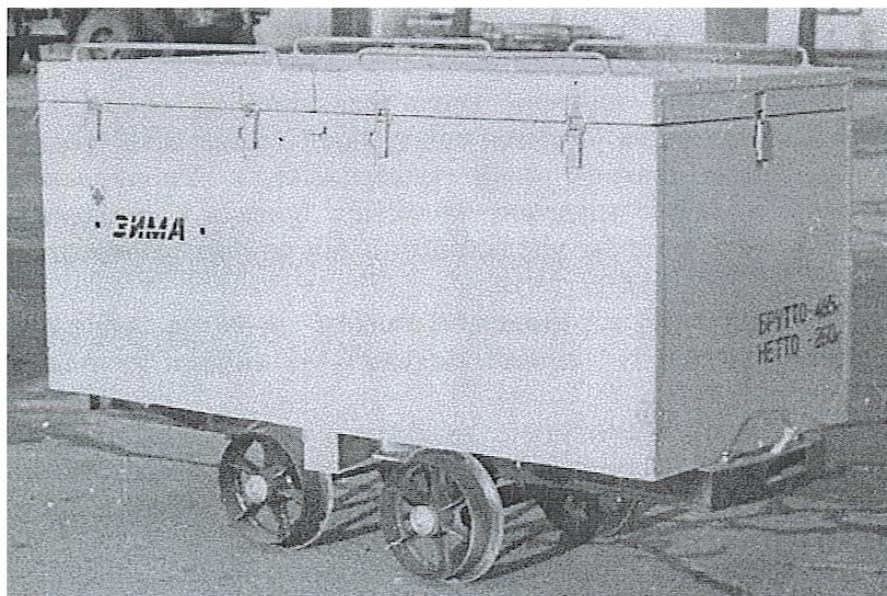


Рисунок 1.6 – Общий вид передвижного теплоизолирующего контейнера вагонетки-термоса ПВТ

Из-за высокой стоимости и дефицита азота, применение комплекса «Зима-А» часто оказывалось неэффективным. В связи с этим были разработаны и внедрены морозильные установки, в которых процесс замораживания ОЭ-2

осуществляется с использованием турбодетандеров и вихревых труб за счет энергии сжатого воздуха, который поступает из шахтной пневмосети или компрессоров [44-46].

Противотепловая одежда, с использованием водолеяных охлаждающих элементов, нашла широкое применение в большинстве зарубежных стран. Известен патент США с размещением в специальных карманах спецодежды таких ОЭ [47]. Подобная противотепловая одежда применяется за рубежом, как при аварийных работах, так и в шахтных технологических процессах, например, в глубоких рудниках на юге Африки. Значительный интерес представляет жилет с секционными водолеяными охлаждающими элементами, которые прилегают к груди и спине спасателя. Такие жилеты применяются в горноспасательной службе ФРГ [48]. Они входят в обязательное оснащение горноспасателей и применяются в зависимости от реальной аварийной ситуации [49, 50], а их эффективность изучена в процессе большого экспериментального исследования в институте горноспасательного дела ДМТ ФРГ [51]. Кроме того, в ФРГ фирмой «Дрегерверк» разработан противотепловой костюм «Бергбау», в котором для охлаждения используется углекислотный лед, а защита дыхания осуществляется системой регенерации воздуха с применением химически связанного кислорода. Приведены позитивные результаты испытания опытного образца костюма [48], однако данные о его применении на практике не приводятся.

В России для защиты используют противотепловую куртку «Дон», в состав которой входят жилет с ОЭ-2, куртка от спецодежды горнорабочих, которая надевается сверху жилета, и аналогичный куртке ТК-50 капюшон.

Отсутствие на оснащении спасателей МЧС, противотепловых костюмов с ОЭ-2, а существующие костюмы, изготовленные из термостойких и теплоотражающих тканей, не обеспечивают необходимое время защитного действия и безопасность ведения аварийно-спасательных работ при высоких эрготермических нагрузках, что приводит к потере здоровья, жизни спасателей, значительным материальным затратам.

После этого, по заказу ВГСЧ России, НИИГД «Респиратор» изготовил и передал 75 вышеприведенных костюмов ПТК-80.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что в настоящее время у пожарно-спасательных подразделений МЧС отсутствует на вооружении противотепловая одежда с активным охлаждением. Это приводит к снижению времени защитного действия, продолжительности проведения аварийно-спасательных работ, что является причиной перегреванию организма, потере здоровья, иногда и жизни пожарных, значительным затратам на лечение, выплатам по профессиональному заболеванию.

Защитная одежда горноспасателей с водоледным охлаждением, в принципе, может быть использована пожарными-спасателями, однако для ее применения потребуются большие материальные затраты.

При тушении пожаров пожарные-спасатели часто используют воду, которую можно использовать для охлаждения.

В связи с вышеизложенным обоснование параметров индивидуальной противотепловой защиты спасателя с минимально возможной массой и максимальным временем защитного действия при тушении пожаров с использованием термостойкой внешней оболочки с охлаждением проточной водой пододежного пространства является актуальной проблемой.

1.5. Анализ методов определения теплового состояния спасателя и нормативов его работы при высоких эрготермических нагрузках

Рассмотрим вопрос по определению нормативов продолжительности работы аварийно-спасательных подразделений при эрготермических нагрузках, в первую очередь, в неизолирующей спецодежде, которая чаще всего используется пожарными-спасателями.

Отечественные и зарубежные специалисты занимаются изучением влияния нагревающей окружающей среды на организм человека и разработкой норм

безопасной продолжительности работы в экстремальных микроклиматических условиях с момента возникновения этой проблемы.

Исследованиями влияния микроклимата на организм человека и разработкой соответствующих нормативов для разных отраслей народного хозяйства занимался институт биофизики Минздрава бывшего СССР. Так, например, по результатам исследований этого института опубликована работа [52], посвященная выделению ограниченного количества физических показателей, которые позволяют оперативно оценивать тепловое состояние пожарного и решать вопрос о допустимой длительности его пребывания в условиях повышенных температур. По результатам многолетних исследований учеными этого института был разработан нормативный документ «Физиолого-гигиенические требования к изолирующим средствам индивидуальной защиты» [53]. В этих требованиях установлены нормативы параметров теплового состояния организма человека, который работает в изолирующих средствах индивидуальной защиты органов дыхания, в условиях характерных для горноспасателей и пожарных.

В работах [54, 55] рассматриваются температурные условия окружающей среды и их влияние на организм человека. Здесь приведены тепловой баланс организма, методы расчета его составляющих, практическое использование данных для расчета предельной длительности экспозиции в зависимости от температуры и других физических характеристик термической среды. Кроме этого в этих работах приведена таблица со схемой расчета и пять номограмм для его выполнения, которые позволяют определять данные о 12 параметрах процесса и предельной продолжительности пребывания пожарных-спасателей в области повышенных температурных воздействий. Разработан стандарт на расчетный метод оценки тепловой нагрузки на человека с повышенным температурным воздействием [56] и международный стандарт [57], которые представляют существенный интерес для разработки расчетных методов определения допустимой продолжительности работы (ПТР) в особо опасных условиях при пожарах.

В ФРГ, в 70-ые годы прошлого столетия, имелись четкие нормативные документы, которые регламентируют ПТР горноспасателей в условиях повышенной температуры и высокой влажности шахтного воздуха [58, 59]. Однако продолжают иметь место случаи теплового травматизма горноспасателей в результате недооценки микроклиматических условий при авариях в шахте. В связи, с этим, с целью анализа существующих нормативов ПТР и разработки новых, в Институте горноспасательного дела ДМТ было проведено большое число экспериментальных исследований в тепловой камере [60, 61]. В течение четырех лет было проведено 950 испытаний в разных видах защитной одежды с респираторами: легкой, огнезащитной горноспасательной, которая в ФРГ состоит из элементов огнезащитной одежды в комбинации с охлаждающим жилетом и без него. Практическим выходом работы появились новые таблицы ПТР (в немецких источниках – максимальной продолжительности работы) горноспасателей в разных микроклиматических условиях и защитной одежде. Таблицы вошли в новую редакцию регламентирующего документа [62]. Для регистрации комплекса физиолого-гигиенических показателей, а также для обработки результатов исследований использовали компьютерную технику.

Наибольшее количество опытов проведено в легкой одежде (спецодежде), что по своим теплозащитным свойствам являются близкими к спецодежде наших пожарных, работающих в зоне повышенных температур. В этой серии было проведено 223 одиночных опыта при десяти разных значениях температурно-влажного WD-индекса [63], а с учетом дополнительной серии, для подтверждения правомерности использования этого индекса проведено всего 305 опытов.

Таблицы ПТР горноспасателей, в зоне с повышенной температурой воздуха, являются важной составной частью Устава ГВГСС по организации и ведению горноспасательных работ [20].

ПТР определяли экспериментальным путем в тепловой камере бывшего ВНИИГД НПО «Респиратор» (впоследствии НИИГД «Респиратор») при испытаниях спецодежды для горноспасателей и пожарных. В испытаниях участвовали не менее пяти испытателей-добровольцев из числа отобранных

горноспасателей и пожарных, которые имели разные антропологические данные и стаж работы. Опыты производили в диапазоне изменения температуры воздуха в камере (27...70) °С, относительной влажности - (15...100), % при средней физической нагрузке (энергозатраты около 300 Вт).

Как показала практика, постановка таких чисто экспериментальных трудоемких исследований без теоретической оценки не может решить на достаточно высоком уровне проблему нормирования безопасной длительности работы горноспасателей и пожарных. Для изучения влияния только температуры воздуха с интервалом 5 °С в диапазоне (27...70) °С необходимо провести десять опытов, а с учетом изменения всех факторов, которые влияют на организм спасателя в спецодежде, как будет показано в дальнейшем возникает необходимость проведения провести более пяти тысяч отдельных опытов.

В связи с тем, что экспериментальный метод определения нормативов продолжительности работы требует больших материальных затрат и времени в последнее время стали разрабатывать теоретические методы, которые заключаются в математическом моделировании процесса теплообмена организма человека в защитной одежде с учетом параметров окружающей среды и большого количества исходных данных, полученных отечественными и зарубежными авторами [18-20].

Работа [18] является одной из первых попыток отечественной разработки нормативов ПТР путем составления математической модели, которая учитывает данные экспериментов, и расчетной программы с помощью ЭВМ, которые созданы в двух вариантах: в упрощенном, для оперативного определения ПТР, и более сложном, с дополнительными исходными параметрами - для расчета при изучении процесса теплообмена.

Однако следует заметить, что полученные результаты расчетов не получили удовлетворительного экспериментального подтверждения [64] по ряду следующих причин. В двух вариантах авторы не учитывали составляющую теплового баланса – теплообмен организма с аппаратом для защиты органов дыхания; принят линейный закон, который связывает повышение температуры

тела и кожи в зависимости от количества накопленной в организме теплоты; приняты постоянными в течение времени ПТР исходные энергозатраты и теплопродукция организма; средневзвешенная температура кожи человека принята постоянной в течение времени ПТР и равной 35 °С; математическая модель описывает только процесс нагревания человека для локальных условий микроклимата, характерных для условий шахты [65]; упрощенный вариант математической модели разработан для условного (стандартного) человека, который имеет массу 70 кг, рост 170 см, поверхность тела 1,8 м², со средней тепловой стойкостью, одетого в хлопчатобумажную спецодежду с тепловым сопротивлением 1 КЛО, то есть для единицы тепловой изоляции, применяемой в физиологии гигиены труда [66] (1 КЛО = 0,155 °С (м²/Вт)) обеспечивает условия комфорта для человека в состоянии покоя при температуре практически неподвижного воздуха равной 21 °С и его относительной влажности до 50 %.

ПТР (время защитного действия) в ПТО для горноспасателей получено на основании данных физиологического состояния (температур тела, кожи и частоты сердечных сокращений) при трудоемких испытаниях в тепловой камере, а также результатов исследования теплового баланса.

Тепловой баланс «окружающая среда - защитная одежда - человек», с моделированием теплообменных процессов в противотепловой одежде горноспасателей и в термостойких костюмах пожарных, приведен в работах [67, 68] и [69-71], в которых не учитывали нестационарные процессы тепломассопереноса в пододежном пространстве – фазовый переход хладагента (превращение льда в воду), дальнейший его теплообмен, количество, расположение и теплофизические характеристики материалов слоев теплоизолирующей оболочки. На основании результатов определены параметры противотепловых костюмов с использованием ОЭ-2, что требовало постоянной корректировки теоретической модели, так как они не всегда совпадали с данными экспериментальных исследований.

В дальнейшем была разработана математическая модель тепломассообменных процессов в вышеприведенной системе [72], которая, в

отличие от результатов, полученных в предыдущих работах, позволяет достоверно моделировать динамику температуры ОЭ-2 как в процессе таяния льда, так и после его завершения (нагревание воды в ОЭ-2).

В работах [73,74] определена одна из составляющих системы – энергозатраты горноспасателей (членов ВГК шахты). Для пожарных-спасателей МЧС аналогичные результаты получены в работе [75]. Однако следует заметить, что недостаточное количество экспериментов привело к ошибочному закону распределения энергозатрат от основных параметров и снижению их значений.

На основании результатов этих математических моделей и проведенных экспериментальных исследований были определены параметры и создана противогазотепловая, противотепловая одежда горнорабочих (членов ВГК шахты), горнорабочих и два типа термостойких костюма для спасателей, соответственно [72,71].

Для определения теплового лучистого потока, воздействующего на горноспасателя в горных выработках шахт, при тушении пожара со стороны свежей воздушной струи, в работе [76] получены его зависимости от расстояния фронта пожара до горноспасателя, максимальной температуры в очаге пожара и площади его горения.

Большой вклад в разработку, создание и внедрение средств индивидуальной противогазотепловой защиты горноспасателей и горнорабочих [10] внесли ученые и конструкторы: Землянский И.Я., Рыбалко А.П., Карпекин В.В., Вольский, В.А., Волохов И. И., Полшков Н.Я., Диденко Н.С., Марийчук И.Ф., Положий В.О., Клименко Ю.В., Гаврилко А.А., Онасенко А.А., Воронов П.С. и др.

Противотепловые костюмы с использованием водолеяных охлаждающих элементов могут быть применены для пожарно-спасательными подразделениями. Однако, их применение связано с большими материальными затратами. Поэтому в качестве охлаждающей жидкости в противотепловой защите пожарного-спасателя целесообразно использовать проточную воду.

В связи с вышеизложенными результатами исследования в области обоснования параметров противотепловой защиты спасателей с водяным охлаждением, обеспечивающей повышение безопасности их труда и расширение тактических возможностей пожарно-спасательных подразделений МЧС, в условиях повышенных тепловых воздействий, представляют большой практический интерес.

1.6. Цель и задачи исследований

Цель работы – обоснование параметров противотепловой защиты спасателей с охлаждением проточной водой на основе установления закономерностей теплообменных процессов в системе «окружающая среда – противотепловой костюм – организм спасателя». Это позволяет создать высокоэффективную противотепловую защиту повысить безопасности труда при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ в условиях повышенных температурных воздействий.

Для достижения поставленной цели возникла необходимость решения следующих основных задач:

- провести анализ условий работы и тактических приемов тушения пожаров на объектах с высоким уровнем теплового излучения;
- провести исследования влияния процесса воздействия на организм спасателя лучистого потока от очага пожара и выбрать расчетную схему противотепловой защиты с охлаждением проточной водой;
- разработать математическую модель теплообменных процессов в системе «окружающая среда – противотепловой костюм – организм спасателя» для исследования температурных полей в пододежном пространстве и определения параметров противотепловой защиты с охлаждением проточной водой;
- экспериментально определить значения энергетических показателей при различной степени тяжести выполняемой спасателем работы в противотепловой защите;

- провести исследования энергетических показателей спасателя при различной степени тяжести выполняемой им работы в противотепловой защите;
- обосновать параметры и создать противотепловую защиту с охлаждением проточной водой, обеспечивающую повышение безопасности труда при проведении работ в условиях повышенных температурных воздействий.

Выводы по главе 1:

1. На основе обзора работ и нормативных документов по анализу условий и тактических приемов тушения пожаров на объектах с высоким уровнем теплового воздействия, эрготермическими нагрузками, воздействующими на пожарных-спасателей, при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ, а также существующими способами и техническими средствами индивидуальной противотепловой защиты сформулирована цель диссертационной работы и основные задачи исследований.

2. Установлено, что используемая в настоящее время противотепловая боевая одежда первого уровня в полной мере не выполняет требуемых функций. Прежде всего, это связано с ограниченным временем ее действия, что несет угрозу здоровью и жизни пожарным-спасателям, а также к срыву выполнения задач по локализации и тушению крупномасштабных пожаров.

ГЛАВА 2

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРОТИВОТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЕ СПАСАТЕЛЯ С ОХЛАЖДЕНИЕМ ПРОТОЧНОЙ ВОДОЙ

2.1. Общие сведения

Для успешного решения проблемы создания для пожарных-спасателей индивидуальной противотепловой защиты, с охлаждением проточной водой, возникла необходимость разработать и обосновать параметры теплообменных процессов в системе «окружающая среда – противотепловая одежда – организм спасателя» в которой учтены: воздействующие на наружную поверхность и проникающие через нее тепловые потоки, теплообмен между теплозащитными слоями с воздушной прослойкой, телом спасателя и комбинезоном охлаждения проточной водой.

В такой постановке задача решается впервые. Результаты теоретических исследований позволили установить максимальное время противотепловой защиты с водяным охлаждением (при коэффициенте черноты его теплоотражающего слоя равном 0,2, расстоянии между охлаждающими трубками не превышающем 30 мм, минимальном их внутреннем диаметре равном 3 мм, расходе воды – не менее 0,24 м³/ч и давлении на входе в противотепловую защиту - 0,4 МПа).

При этом результаты расчета по созданной модели показали, что максимальное время защиты - не меньше 60 мин.

2.2. Методология и основные методы исследования

В диссертационной работе приводится решение одной из важнейших проблем – создание безопасных условий труда пожарных-спасателей при

проведении аварийно-спасательных работ пожарно-спасательными подразделениями МЧС, а именно - создание высокоэффективной индивидуальной противотепловой защиты от высоких эрготермических нагрузок.

Решение поставленной задачи сводится к разработке математической модели теплового состояния организма спасателя с учетом комплексного влияния окружающей среды с высокими тепловыми воздействиями, физической нагрузки, теплофизических характеристик материалов слоев противотепловой одежды, определением допустимой продолжительности работы пожарного-спасателя.

При проведении исследований была использована методика, в основу которой было положено рассмотрение обобщенной системы «окружающая среда - защитная одежда - организм спасателя», структурная схема которой приведена на рисунке 2.1.

Первая составляющая системы - окружающая среда характеризуется температурой, влажностью и скоростью движения воздуха, тепловым лучистым потоком, а также задымленностью.

Физические нагрузки на пожарных-спасателей подразделяется на легкую, средней тяжести, тяжелую и очень тяжелую. Они представляют собой эрготермические нагрузки на пожарных-спасателей, которые являются основными факторами, влияющими на их тепловое состояние. При этом принято считать, что степень тяжести работы определяется следующим изменением диапазона энергозатрат (Вт): 160 (отдых в респираторе) – легкая, от 160 до 320 – средняя, от 320 до 480 – тяжелая, больше 480 – очень тяжелая.

Вторая составляющая системы – защитная одежда подразделяется на изолирующую от внешней среды, теплоотражающую и теплозащитную без охлаждения, которая находится на оснащении подразделений МЧС, а также на изолирующую с охлаждением, которую необходимо создать или усовершенствовать существующую. Термин изолирующая одежда означает, что она защищает от теплового влияния всю поверхность тела спасателя и препятствует влиянию на него влажности и скорости движения воздуха окружающей среды.



Рисунок 2.1 - Структурная схема системы «окружающая среда – противотепловая одежда – организм спасателя»

При этом необходимо выбрать наиболее простые, надежные и недорогие: охлаждающую жидкость, способ, устройство охлаждения, с учетом пропорционального теплосъема с участков тела пожарного-спасателя; определить параметры средства охлаждения (геометрические и массу) и противотепловой одежды (количество слоев, теплофизические характеристики материалов и прослоек, массу), распределение температуры в слоях и в пододежном пространстве, расходно-напорную характеристику устройства охлаждения.

Критерием теплового состояния пожарного-спасателя в изолирующей одежде, с охлаждением и без него, является допустимые температура в пододежном пространстве или частота сердечных сокращений испытуемого согласно санитарным нормам, чем обеспечивается безопасная продолжительность его работы.

Третья составляющая системы – организм пожарного-спасателя зависит от трех физиологических параметров: температур тела (ректальной) и кожи, частоты сердечных сокращений.

При выполнении данной диссертационной работы были использованы аналитические, аналитико-экспериментальные и экспериментальные методы. Кроме этого, в работе обобщены и использованы результаты экспериментальных исследований, полученные отечественными и зарубежными авторами.

При теоретических исследованиях использованы основные законы теплофизики и гидравлики, а также математическое моделирование

Экспериментальные исследования были проведены в соответствии с методикой испытаний средств индивидуальной противотепловой защиты пожарных-спасателей, в наиболее близких к реальным условиям: на опытно-экспериментальном полигоне, в тепловом комплексе, включая микроклиматическую камеру НИИГД «Респиратор». В процессе проведения экспериментальных исследований были использованы аттестованное оборудование и аппаратура.

Основные методы исследований, при решении поставленных в диссертационной работе задач, приведены в таблице 2.1. Подробно используемые

методики изложены в соответствующих разделах.

Таблица 2.1 - Основные задачи и методы исследований

№ п/п	Решаемые в работе задачи	Методы исследований
1	Анализ существующих условий и тактических приемов тушения пожаров на объектах с повышенным температурным воздействием	Информационно-аналитический метод: исследование существующих условий и тактических приемов тушения пожаров на объектах с высоким уровнем теплового излучения, методов и средств противотепловой защиты спасателей и продолжительности проводимых ими работ
2	Исследования по определению воздействующего на пожарных-спасателей лучистого потока от очага пожара и выбор расчетной схемы противотеплового костюма с проточным водяным охлаждением	Теоретический и аналитический методы: исследования по определению тепловых лучистых потоков от пожара, воздействующих на наружную поверхность противотеплового костюма и проникающих в поддежное пространство; выбор расчетной схемы противотепловой защиты минимальной массы с максимальным возможным временем защитного действия
3	Разработка математической модели нестационарных теплообменных процессов в системе «окружающая среда – противотепловой костюм – организм спасателя»	Теоретический метод: исследование нестационарных теплообменных процессов в системе «окружающая среда - противотепловой костюм – организм спасателя»
4	Исследования по определению энергетических показателей членов пожарно-спасательных подразделений и тяжести и тяжести выполняемой ими работы	Экспериментально-теоретические методы: определение энергозатрат пожарными-спасателями в зависимости от вида и условий проводимых работ и обработка данных экспериментов
5	Обоснование параметров и создание противотепловой защиты пожарных-спасателей с водяным охлаждением, обеспечивающей повышение безопасности труда спасателей пожарно-спасательных подразделений МЧС при ведении аварийно-спасательных работ в условиях повышенных тепловых воздействий	Аналитико-статистический метод исследований по определению конструктивных, эксплуатационных параметров и технической характеристики противотепловой защиты, тактических возможностей его применения при ведении аварийно-спасательных работ

На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований были обоснованы параметры противотепловой защиты с охлаждением проточной водой, определены его технические характеристики, которые обеспечат повышение безопасности и эффективности труда спасателя при ведении работ в

условиях повышенных тепловых воздействий.

Основная техническая характеристика противотепловой одежды – время защитного действия (продолжительность работы спасателя), которое функционально можно представить в виде

$$\tau = f_1(q, x, k_0, q_{\text{п}}, q_{\text{к}}, \varepsilon_{\text{к}}, \Theta_0, n_i, \varepsilon_i, \lambda_i, c_i, \rho_i, Q_{\text{м}}), \quad (2.1)$$

где: q – тепловой лучистый поток от очага пожара, кВт/м²;

x – расстояние от очага пожара до спасателя, м;

k_0 – коэффициент теплового облучения;

$q_{\text{п}}$ – тепловой лучистый поток, падающий на поверхность одежды спасателя, кВт/м²;

$q_{\text{к}}$ – тепловой лучистый поток, проникающий через наружный теплоотражающий слой одежды, кВт/м²;

$\varepsilon_{\text{к}}$ – степень черноты наружной поверхности костюма;

Θ_0 – температура воздуха окружающей среды, °К;

n_i – количество слоев одежды, ед.;

ε_i – степень черноты слоев одежды;

λ_i – коэффициент теплопроводности материала слоев одежды, Вт/(м·К);

c_i – теплоемкость материала слоев одежды, кДж/ (кг·К);

ρ_i – плотность материала слоев одежды, кг/м³;

$Q_{\text{м}}$ – тепловой поток от тела спасателя, Вт.

В первую очередь определим тепловой лучистый поток, воздействующий на спасателя при тушении пожара.

2.3. Исследования процесса воздействия теплового лучистого потока

При разработке противотепловой одежды спасателя для тушения пожаров в помещениях зданий, сооружений, на открытых площадках и в дальнейших

исследованиях теплообменных процессов в ней, необходимо знать значения тепловых лучистых потоков от пожара, падающих на ее внешнюю поверхность для выбора коэффициента черноты.

Функционально возникающие при пожаре лучистые потоки можно выразить зависимостью

$$q = f_2(\varepsilon, \sigma, \Theta_{\max}) , \quad (2.2)$$

где ε – степень черноты очага пожара;

σ – постоянная Стефана-Больцмана, равная $5,67 \cdot 10^{-11}$ кВт/(м²·°К⁴);

Θ_{\max} – максимальная температура горения веществ, °К.

Примем расчетную модель очага пожара в следующем виде (рисунок 2.2) [76].

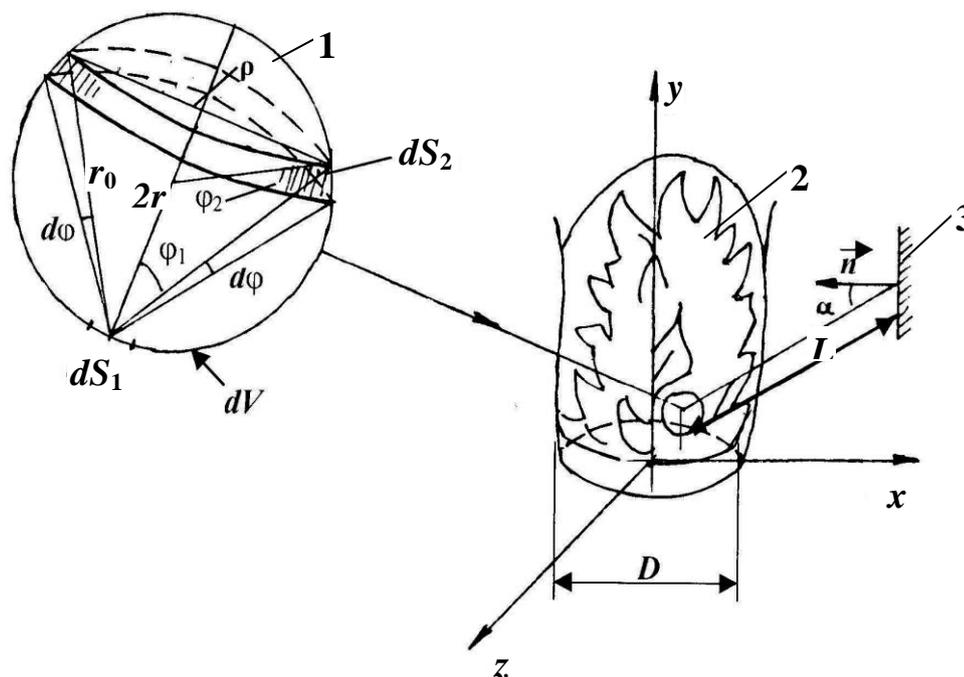


Рисунок 2.2 - Модель теплового излучения от очага пожара: 1 – элементарный объем поглощающей и рассеивающей газовой среды; 2 – область очага пожара; 3 – наружная поверхность противотепловой защиты

Здесь $dV(x, y, z)$, м^3 – элементарный объем поглощающей и рассеивающей газовой среды в области очага пожара, Θ и d_0 – температура, $^\circ\text{K}$ и диаметр этого объема, м ; l – расстояние от элементарного объема dV до произвольно ориентированной площадки с нормалью \bar{n} , м ; α – угол между направлением нормали и прямой, соединяющей центры излучающей сферы и поглощающей площадки, рад ; D – диаметр очага пожара, м .

Рассмотрим лучистый теплообмен между элементами объекта среды dV и окружающей его сферической оболочкой, считая ее абсолютно черной.

Согласно закону Кирхгофа [77] излучение рассматриваемого объема поглощающей сферы, в данной области спектра, равно количеству энергии, которая поглощает этот объем от излучения окружающей оболочкой в этой же области спектра. Тогда, вместо расчета излучения объема dV , достаточно определить часть энергии, поглощаемой этим объемом от излучения окружающей оболочки.

Интенсивность $d\Phi$ элементарного кольцевого пояса dS_2 сферической оболочки на элемент поверхности dS_1 через шаровой поглощающий слой, с допущением, что вначале среда не является поглощающей, имеет вид:

$$d\Phi = q_0 \frac{\cos\varphi_1 \cos\varphi_2}{\pi r_0^2} dS_1 dS_2, \quad (2.3)$$

где q_0 – плотность потока энергии полного полусферического излучения абсолютно черного тела при температуре Θ , $\text{Вт}/\text{м}^2$;

φ_1, φ_2 – углы, под которыми видны поверхности dS_1 и dS_2 , рад .

Площадь элементарного кольцевого потока легко определить из уравнения:

$$dS_2 = 2\pi r_0^2 \frac{\sin \varphi_1}{\cos \varphi_2} d\varphi. \quad (2.4)$$

Для сферы $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$, а так как среда поглощающая, то для области спектра, в которой она обладает полосами поглощения, уравнение (2.3) с учетом (2.4) примет вид

$$d\Phi = 2q_0 \cos \varphi \sin \varphi dS_1,$$

Согласно закону Бугера [77] энергия $\Phi_{\text{п}}$, поглощаемая средой от излучения элементарной поверхности dS_2 , равна:

$$d(d\Phi_{\text{п}}) = (1 - e^{-\kappa r_0}) d\Phi = 2q_0 (1 - e^{-\kappa r_0}) \cos \varphi \sin \varphi d\varphi dS_1,$$

где κ – коэффициент ослабления очага пожара, который при температуре горения материалов в нем $\Theta_{\text{оч}} > 773$ °К, определяется по формуле:

$$\kappa = 1,6 \cdot 10^{-3} \Theta_{\text{оч}} - 0,5.$$

Пренебрегая членами второго и более высокого порядка, после разложения экспоненциальной функции в ряд, ввиду малости значения κr_0 , получим:

$$d(d\Phi_{\text{п}}) = 4q_0 \kappa r_0 \cos^2 \varphi \sin \varphi d\varphi dS_1. \quad (2.5)$$

Для определения энергии, поглощенной средой от излучения, которое посылает сферическая оболочка на элемент dS_1 , проинтегрируем выражение (2.3) от 0 до $\pi/2$.

Такое же количество энергии, согласно закону Кирхгофа, в указанной области спектра, будет излучать и сферический поглощающий объем на элемент поверхности dS_1 . В результате сферическое излучение $d\Phi_{\text{п}}$ рассматриваемого

объема поглощающей среды, в заданном интервале длин волн, будет равно $d\Phi_{\text{п}}$.

При этом

$$d\Phi_{\text{п}} = d\Phi_{\text{и}} = -2q\kappa r S_1 \int_0^{\pi/2} \cos^2 \varphi d(\cos \varphi) = \frac{2}{3} q\kappa r dS_1. \quad (2.6)$$

Используя [77, 79] и вышеприведенные рассуждения получим

$$d\Phi_{\text{и}} = \frac{2}{3} \sigma \Theta_{\text{оч}}^4 \kappa r dS_1, \quad (2.7)$$

и интегрируя выражение (2.7) по поверхности оболочки, с учетом, что величина $\varepsilon = 2\kappa r$, определяющая поглощающую способность среды (степень черноты), для полного сферического излучение объема dV будет представлена в вид

$$d\Phi_{\text{и}} = \frac{2}{3} \pi r^3 \kappa \sigma \Theta_{\text{оч}}^4, \quad (2.8)$$

Интенсивность теплового потока q_A с учетом закона Ламберта, [78] равна

$$q_L = \frac{\Phi_{\text{и}}}{4\pi L^2} = \frac{1}{4\pi L^2} \kappa \sigma \Theta_{\text{оч}}^4 \cos \alpha dV = \kappa_0 \sigma \Theta_{\text{оч}}^4 dV, \quad (2.9)$$

где κ_0 – коэффициент облучения, с помощью которого можно учесть расположение объектов в пространстве по отношению к излучаемой поверхности, вычисляемый по формуле:

$$\kappa_0 = \frac{\kappa \cos \alpha}{4\pi L^2} \quad (2.10)$$

Выражение (2.9) позволяет рассчитать плотность падающих лучистых потоков через поверхности различной ориентации.

Полное излучение факела в произвольную точку пространства складывается из излучений всех элементарных объемов.

Анализ экспериментальных данных, полученных ранее, и моделирование на ЭВМ лучистого потока, с использованием формулы (2.9), показывает [79], что максимальная плотность падающих на объект лучистых потоков q , Вт/м², от локального очага пожара, который тушат активным способом, является функцией степенной зависимости от расстояния ($x=L$) между спасателем и центром очага пожара:

$$q = a\sigma\Theta_{\text{оч}}^4 \left(\frac{x}{D} \right)^{-b}, \quad (2.11)$$

где a и b – эмпирические константы.

Температура в очаге пожара $\Theta_{\text{оч}}$ зависит от коэффициента ослабления κ , диаметра очага D и максимальной температуры в нем Θ_{max} , °К.

В качестве диаметра очага пожара D (в сторону завывшения) принимаем диаметр круга, площадь которого равна площади очага пожара F , то есть.

$$D = 2\sqrt{\frac{F}{\pi}} = 1,13\sqrt{F}. \quad (2.12)$$

Значения a , b и $\Theta_{\text{оч}}$ зависят от числа Бугера

$$B_U = \kappa D.$$

Так, для площади, у которых $3 \text{ м}^2 \leq F \leq 10 \text{ м}^2$,

$$3,3 \leq B_U \leq 6,0. \quad (2.13)$$

В этом диапазоне чисел B_U , согласно [78], величина $\Theta_{\text{оч}}$ будет равна:

$$\Theta_{\text{оч}} = 0,905\Theta_{\text{max}}, \quad (2.14)$$

а средние значения для a и b будут равны $a = 0,16$, $b = 2,00$.

Для больших площадей, когда $F > 10 \text{ м}^2$, а температура в очаге $\Theta_{\text{оч}} = 1370 \text{ °К}$ будет максимальной, подставляя выражения (2.12), (2.14) в уравнение (2.11), получим, с учетом запаса безопасности для спасателя, завышенное значение q , кВт/м²:

$$q = 0,78 \cdot 10^{-11} \Theta_{\text{max}}^4 \frac{F}{x^2}. \quad (2.15)$$

Результаты проведенных исследований [10, 79] показали, что при $q = 1 \text{ кВт/м}^2$ тепловое излучение может неопределенно долго действовать на кожу человека; а при максимальном его значении $q = 6,4 \text{ кВт/м}^2$ – боль ощущается начиная с 8 с, то есть в данном случае необходимо применять эффективные противотепловые средства защиты кожных покровов.

Если принять $q_{\text{д}} = 1 \text{ кВт/м}^2$, в качестве допустимого значения, то по формуле (2.15) зависимость допустимого расстояния $x_{\text{д}}$, м, на которое можно приблизиться спасателю к фронту пламени пожара, без противотепловых средств, будет иметь вид:

$$x_{\text{д}} = x - \frac{D}{2} = \left(0,28 \cdot 10^{-5} \Theta_{\text{max}}^2 - 0,564\right) \sqrt{F}. \quad (2.16)$$

Используя выражения (2.15) и (2.16), была разработана номограмма (рисунок 2.3) для определения величины интенсивности лучистого потока в зависимости от максимальной температуры горения различных материалов: древесины, пластмасс, бензина, керосина, угля и т.д. ($\Theta_{\text{max}} = 1273 \dots 1473 \text{ °К}$), а

также от величины площади горения и расстояния до фронта пламени пожара. Зависимости, для определения допустимого расстояния до очага пожара от максимальной температуры и площади горения представлены на рисунке 2.4.

Результаты экспериментальных исследований показывают, что для эффективного тушения пожаров первичными средствами пожаротушения, допустимые расстояния до очага пожара должны быть больше 5 м.

Величина максимальной интенсивности лучистого потока (рисунок 2.3) на таком расстоянии, в зависимости от максимальных температур, равна (3...20) кВт/м² при площади горения F , равной (6...20) м².

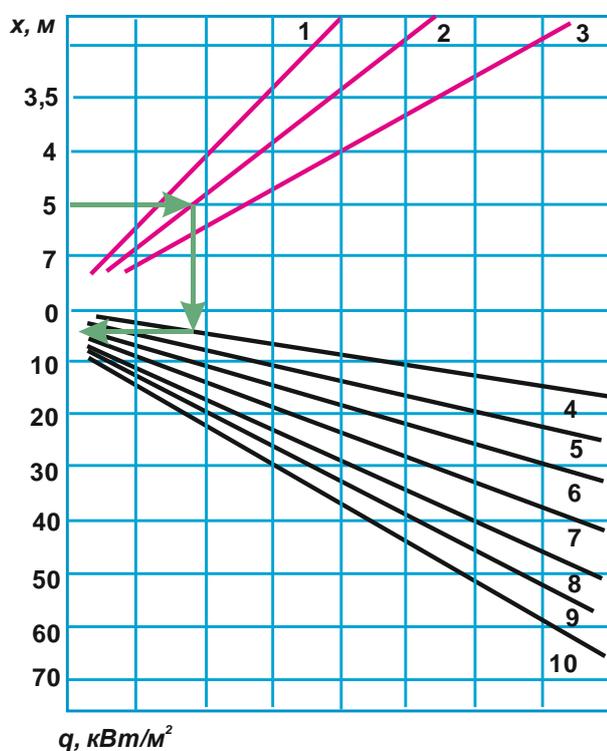


Рисунок 2.3. - Номограмма для определения величины интенсивности теплового лучистого потока q в зависимости от удаленности пожарного-спасателя (x) от фронта очага пожара, величины его площади F и максимальной температуры горения Θ_{max} : 1, 2, 3 – 1273, 1373, 1473 °К;
(4...10) – $F = 6...20 м^2$.

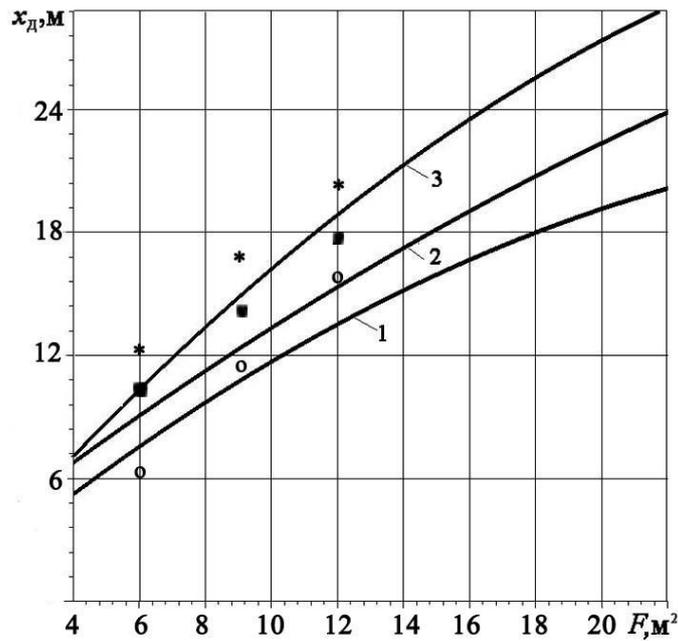


Рисунок 2.4. - Зависимость допустимого расстояния между спасателем и фронтом очага пожара от величины площади пожара F и максимальных температур горения Θ_{max} : 1, 2, 3 – 1273, 1373, 1473 °K; ○ (1), * (2), ■ (3) – экспериментальные данные НИИГД «Респиратор».

При исследовании теплообменных процессов в одежде спасателя без противотепловой защиты полученные результаты целесообразно привести в виде аппроксимирующих зависимостей, которые имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
 x_{d1} &= -0,0173F^2 + 1,0024F + 3,8305; \\
 x_{d2} &= -0,0101F^2 + 0,9738F + 5,6357; \\
 x_{d3} &= -0,0214F^2 + 1,4004F + 5,8857.
 \end{aligned}
 \tag{2.17}$$

Зависимости (2.16), (2.17) могут быть использованы для определения величины интенсивности лучистого теплового потока, который должен быть отражен, рассеян или поглощен противотепловой защитой. В результате обработки полученных данных [80], с учетом условий, (в частности, в

помещениях), установлено, что значения коэффициента теплового облучения для развившихся пожаров пропорциональны отношению \sqrt{F}/x и значительно превышают значения, рассчитанные по формуле (2.10).

При этом, с предположением, что тепловое воздействие от пожара на противотепловую защиту происходит за счет лучистого теплообмена с источником горения, который распространен на все сечение помещения или площадь его поверхности. В этом случае расчет считается целесообразно проводить по следующей схеме.

1. Определение излучаемой интенсивности от очага пожара q , кВт/м²:

$$q = \varepsilon \sigma \Theta_{\text{пжк}}^4 . \quad (2.18)$$

2. Установление безразмерного параметра расстояния \bar{x} :

$$\bar{x} = x / \sqrt{F} . \quad (2.19)$$

3. Определение коэффициента облучения κ_0 противотеплового костюма, аппроксимируя ранее полученную графическую зависимость [10]:

$$\kappa_0 = 0,2628 \exp(-0,6836 \bar{x}) . \quad (2.20)$$

4. Установление интенсивности падающего лучистого потока на площадь поверхности костюма $q_{\text{п}}$, кВт/м²

$$q_{\text{п}} = \kappa_0 q . \quad (2.21)$$

5. Определение интенсивности поглощенного наружным слоем костюма теплового потока $q_{\text{к}}$, кВт/м²

$$q_{\text{к}} = \varepsilon_{\text{к}} (q_{\text{п}} - \sigma \Theta_0^4) , \quad (2.22)$$

где ε_k – степень черноты наружной поверхности костюма;

Θ_0 – начальная температура противотепловой защиты до нагрева от очага горения, которую принимаем равной температуре воздуха окружающей среды, °К.

С учетом зависимостей (2.18)-(2.22) были определены величины значений $q_{\text{п}}$ и q_k , а также их воздействие на противотепловую защиту при пожаре (рисунок 2.5).

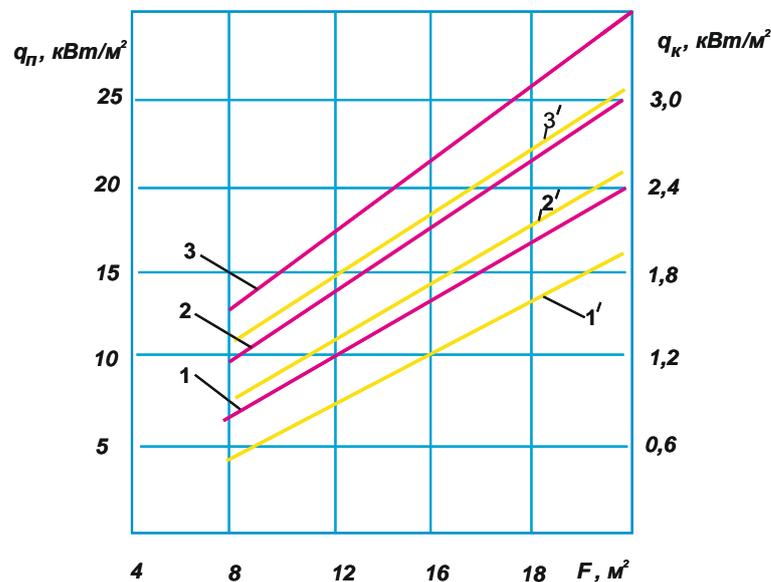


Рисунок 2.5. - Зависимости интенсивности падающего на наружную поверхность $q_{\text{п}}$ (1, 2, 3) и поглощенного первым слоем противотепловой защиты q_k (1', 2', 3') тепловых лучистых потоков от величины площади пожара F , при максимальной температуре горения Θ_{max} на расстоянии 5 м от фронта развитого пожара, при степени черноты наружной поверхности противотепловой защиты $\varepsilon_k = 0,2$ и начальной температуре $\Theta_0 = 303^\circ\text{K}$ (30°C): 1, 1': 2, 2': 3, 3' – $\Theta_{\text{max}} = 1273, 1373, 1473^\circ\text{K}$, $q = 150, 200, 270 \text{ кВт/м}^2$, соответственно.

При этом следует заметить, что величину q_k определяли из зависимости:

$$q_{\kappa} = \varepsilon_{\kappa} \sigma (\kappa_0 \Theta_{\max}^4 - \Theta_0^4). \quad (2.23)$$

Из вышеизложенного следует, что при принятых исходных данных, в частности: степени черноты наружной поверхности костюма $\varepsilon_{\kappa} = 0,2$ (так как в настоящее время имеются покрытия наружной оболочки костюмов, которые отражают (80...97)% тепловых лучистых потоков), т.е. $\varepsilon_{\kappa} = (0,2...0,03)$; начальной температуры костюма $\Theta_0 = 303 \text{ }^{\circ}\text{K}$ ($30 \text{ }^{\circ}\text{C}$); расстоянии 5 м от фронта развитого пожара и максимальной температуры $\Theta_{\max} = 1273, 1373, 1473 \text{ }^{\circ}\text{K}$ возникают соответственно тепловые лучистые потоки $q = 150, 200, 270 \text{ кВт/м}^2$. При этом, интенсивности потоков q_{Π} составили, соответственно, (7,0...20,0) (1), (10,0...25,0) (2), (13,0...30,0) (3) кВт/м², а поглощенные противотепловой защитой – $q_{\kappa} = (0,5...2,0)$ (1'), (0,9...2,5) (2'), 1,2...3,1 (3') кВт/м².

Для исследований теплообменных процессов в противотепловой защите вместо графических зависимостей целесообразно использовать аппроксимирующие уравнения, которые имеют вид:

$$\begin{aligned} q_{\kappa 1} &= 0,104q_{\Pi} + 0,414; \quad q_{\kappa 2} = 0,125q_{\Pi} + 0,658; \\ q_{\kappa 3} &= 0,137q_{\Pi} + 1,009; \quad q_{\kappa}' = 0,094q_{\Pi} + 0,103; \\ q_{\kappa}'' &= 0,104q_{\Pi} + 0,514; \quad q_{\kappa}''' = 0,125q_{\Pi} + 0,739. \end{aligned} \quad (2.24)$$

В дальнейшем эти результаты могут быть использованы для исследований теплообменных процессов в противотепловой защите спасателя с водяным охлаждением.

В диссертационной работе предложен метод для определения воздействующих на одежду спасателя отраженных и проникающих тепловых лучистых потоков через ее наружный слой, в зависимости от коэффициента его черноты, максимальной температуры и площади очага пожара, а также расстояния от фронта очага до спасателя.

2.4. Математическая модель теплообменных процессов в системе «окружающая среда - защитная одежда - организм спасателя».

2.4.1. Выбор расчетной схемы противотепловой защиты с охлаждением проточной водой и теплофизических характеристик материалов защитных слоев

Основным механизмом теплозащитного действия индивидуальной противотепловой защиты является отвод тепла с применением устройства отбора и подачи проточной воды. Принципиальная схема комбинезона водяного охлаждения противотепловой защиты спасателя, с отбором воды из пожарного рукава, приведена на рисунке 2.7.

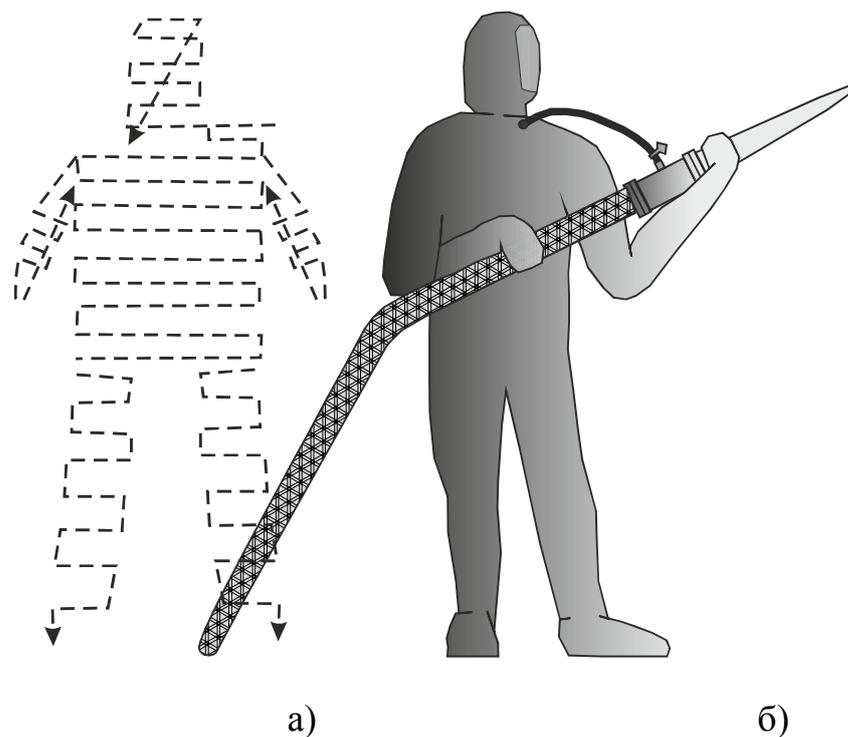


Рисунок 2.7. - Принципиальная схема комбинезона водяного охлаждения противотепловой защиты спасателя: а – направления движения воды по трубкам внутреннего комбинезона водяного охлаждения; б – отбор проточной охлаждающей воды из пожарного рукава

Охлаждающим элементом устройства противотепловой защиты являются полихлорвиниловые трубки, которые соединены с рукавной линией специальным устройством для отбора воды. После прохождения трубок, расположенных в один

ряд между двумя слоями ткани комбинезона водяного охлаждения (рисунок 2.8), отработанная вода удаляется в окружающую среду в нижней части противотепловой защиты.

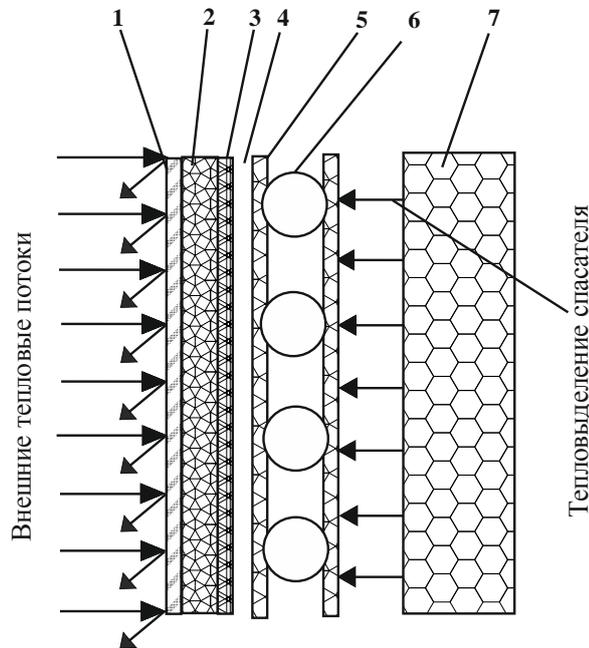


Рисунок 2.8. - Схема для расчета системы «окружающая среда - противотепловой костюм - организм спасателя»: 1 – наружный слой с металлизированным отражающим покрытием; 2 – теплоизолирующий слой; 3 – внутренний слой; 4 – воздушная прослойка; 5 – слой комбинезона водяного охлаждения; 6 – тело пожарного-спасателя; 7 – трубки с проточным водяным охлаждением

С учетом предложенной структуры противотепловой защиты, разработана модель для теплотехнического расчета геометрических параметров слоев, в том числе и тех, которые подлежат варьированию. При этом приняты следующие основные допущения.

1. Рассматривается трехмерная задача с допущением, что в направлениях по осям y и z теплофизические характеристики материалов не зависят от температуры.

2. Между слоями оболочки и охлаждающими трубками происходит лучистый теплообмен.

3. Тепловой поток, проникающий через наружную теплоотражающую оболочку противотепловой защиты, характеризуется коэффициентом ослабления излучения, который соответствует степени поглощения отражающего слоя, равной 0,2.

4. На внутреннюю поверхность оболочки противотепловой защиты воздействует тепловой поток от тела спасателя со средней интенсивностью $q_w = 0,28 \text{ кВт/м}^2$ (рисунок 2.10), с учетом его ослабления при коэффициенте отражения равном 0,8.

Схема расчетной области оболочки противотепловой защиты, в которой указаны постоянные и варьируемые геометрические параметры приведена на рисунке 2.9.

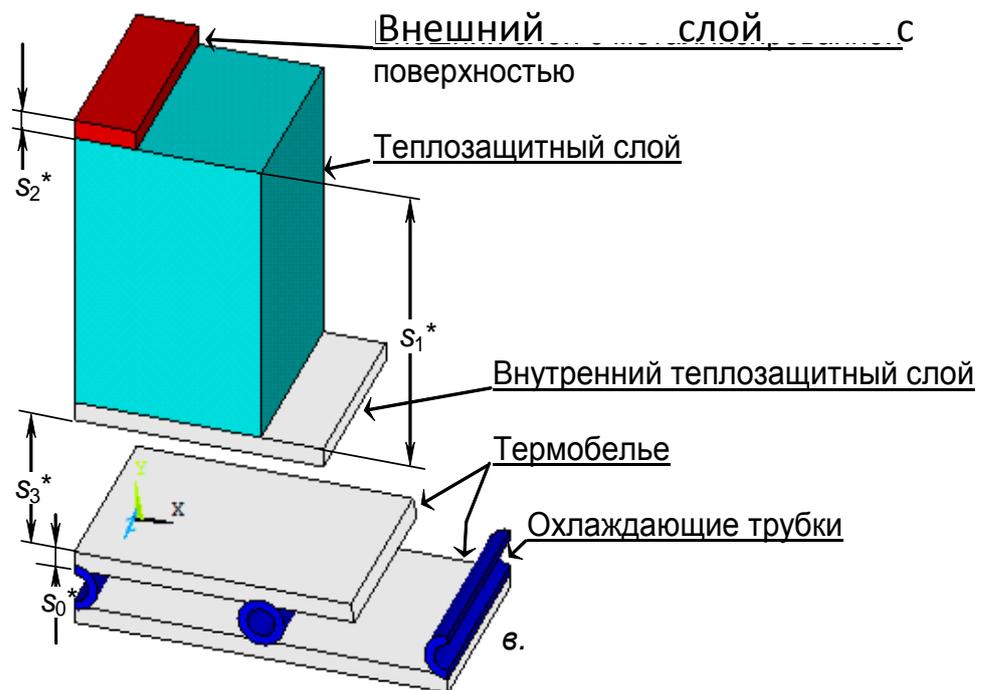


Рисунок 2.9 – Схема для расчета области оболочки противотепловой защиты с расположением охлаждающих трубок

Постоянные параметры указаны со звездочками.

Следует отметить, что в приведенных расчетах следует принять вариант сочетания материалов слоев противотепловой защиты спасателей, которые характеризуются минимальными коэффициентами теплопроводности.

Материалы и их теплофизические характеристики, для выбранной схемы расположения охлаждающих трубок [80-82], приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Теплофизические характеристики материалов оболочки противотепловой защиты

Слой оболочки противотепловой защиты	Наименование материала	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт · м ⁻¹ · °С ⁻¹	Удельная теплоемкость, C_p , кДж · кг ⁻¹ · °С ⁻¹	Плотность, ρ , кг/м ³
Наружный отражающий слой	керамоволокно ткань LYTX - 208A2	0,164	0,6	500
Теплозащитный слой	БСТВ (базальтовое супертонкое волокно)	0,034	0,8	24
Внутренний слой	номекс	0,047	1,3	316,8
Воздушная прослойка	воздух	1,005	0,2375	1,225
Двойная трикотажная ткань	номекс	0,047	1,3	316,8
Трубки с охлаждающей водой	полихлорвинил	0,15	1,2	1300

Принятые в расчетах геометрические размеры слоев противотепловой защиты приведены в таблице 2.4. При этом параметры со * могут варьироваться,

что позволяет подобрать их с учетом проектируемого времени защитного действия противотепловой защиты

Таблица 2.4 - Геометрические размеры слоев оболочки предлагаемой противотепловой защиты

Толщина наружного отражающего слоя, s_2^* , мм	Толщина внутреннего теплозащитного слоя, s_1^* , мм	Толщина внутреннего слоя (слоя термобелья), s_0^* , мм	Толщина воздушного слоя, s_1^* , мм	Толщина стенки трубки, δ^* , мм
2	30	2	15	1

2.4.2. Математическая модель процесса теплопередачи

Используя допущения, приведенные выше, для исследований теплообменных процессов в противотепловой защите можно использовать, в общем виде, уравнение теплопроводности, которое имеет вид:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\lambda}{C_p \rho} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right), \quad (2.25)$$

где θ – температура, °С; t – время, с; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С); C_p – удельная теплоемкость, Дж/(кг·°С); ρ – плотность, кг/м³.

При этом на границах расчетной области были установлены граничные условия. Расчетная область оболочки противотепловой защиты, при однорядном расположении трубок с установленными граничными условиями, показана на рисунке 2.10. При наложении граничных условий были учтены следующие положения:

1. Во внутренних полостях трубок находится подаваемая охлаждающая вода с одинаковой температурой. Другими словами на внутренней поверхности трубок все точки имеют одинаковые температуры. Следовательно, на данной поверхности можно принять граничные условия (ГУ) I рода.

2. На внутреннюю оболочку противотепловой защиты действует тепловой поток от тела спасателя, который определяется по справочным данным [81]. Следовательно, на этой поверхности можно принять ГУ II рода.

3. На внешнюю оболочку противотепловой защиты действует лучистый тепловой поток от очага пожара, который устанавливается согласно данным работ [81, 82]. Следовательно, на этой поверхности можно принять ГУ II рода.

4. Поверхности внешней оболочки и комбинезона водяного охлаждения, взаимно облучаются [81]. Следовательно, на этих поверхностях можно принять ГУ III рода.

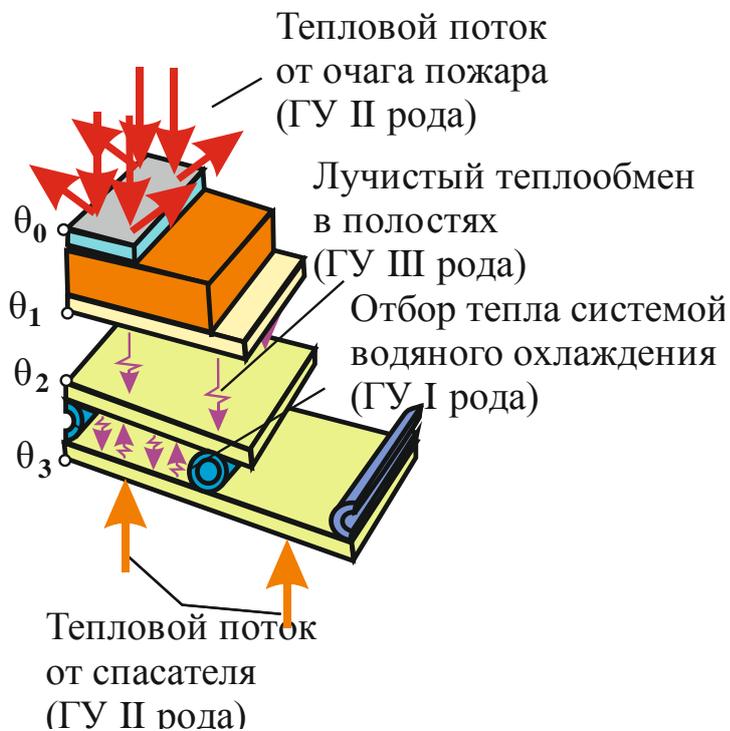


Рисунок 2.10 - Граничные условия (ГУ) для расчетной схемы противотепловой защиты с обозначением контрольных точек для определения распределения температур в ее слоях

В соответствии с рисунком 2.10 граничные условия имеют следующий вид:

$$\text{ГУ I рода } \theta|_{x,z} = \theta_w, \quad (2.26)$$

$$\text{ГУ II рода } q|_{x,z} = q_w, \quad (2.27)$$

где θ_w, q_w – температура, °С и тепловой поток, Вт/м² на границе расчетной области, соответственно.

Лучистый теплообмен в полостях между слоями и трубками учитывается путем решения интегрального уравнения лучистого теплообмена между поверхностями, которое имеет такой вид:

$$\sum_{j=1}^N (\delta_{ij} - \varphi_{ij}) \sigma T_j^4 = \sum_{j=1}^N \frac{1}{A_j} \left(\frac{\delta_{ij}}{\varepsilon_j} - \varphi_{ij} \frac{1 - \varepsilon_i}{\varepsilon_j} \right) q_j, \quad (2.28)$$

где δ_{ij} – параметр, который равен 0, если $i \neq j$, и равен 1, если $i = j$;

q_j – поверхностный тепловой поток через i -тую поверхность, которая обменивается излучением с j -той поверхностью

φ_{ij} – лучевые форм-факторы, зависящие от взаимного расположения i -той и j -той площадей поверхностей, обменивающихся излучением, и определяются по интегральному уравнению лучистого теплообмена между поверхностями, излучающими тепло:

$$\varphi_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \omega_i \cos \omega_j}{\pi r^2} dA_j dA_i. \quad (2.29)$$

В формулу (2.29) входят такие основные величины:

ω – угол между нормалью до элемента и линией, которая соединяет элементы i и j ;

r – расстояние между центрами элементов i и j .

Параметры, необходимые для реализации ГУ, приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Параметры граничных условий расчетной области

Температура воды в трубках, $\theta_w, ^\circ\text{C}$	Тепловой поток от человеческого тела, $q_h, \text{кВт/м}^2$	Тепловой поток на внешней поверхности оболочки, $q_n, \text{кВт/м}^2$	Степень черноты поверхности трубок, ε_t	Степень черноты экранирующих слоев, ε_s
20...25	0,28	20...30	0,7	0,2

2.4.3. Численный метод решения задачи теплопроводности

Выражение для аппроксимации уравнения теплопроводности при использовании метода конечных элементов, имеет следующий вид:

$$[C_e] \{\theta_e\} + [K_e] \{\theta_e\} = \{Q_e\}, \quad (2.30)$$

где $[C_e] = \rho \cdot C_p \int_V \{N\} dV$ – матрица теплоемкости конечных элементов (КЭ);

$[K_e] = \int_V [B]^T [D] [B] dV$ – матрица теплопроводности КЭ;

$[B] = \{L\} \{N\} \theta$ – матрица распределения температур в области, ограниченной КЭ;

$\theta = \{N\}^T \{\theta_e\}$ – температура внутри области, ограниченной КЭ;

$\{T_e\}$ – вектор узловых температур КЭ;

$$[D] = \begin{pmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & \lambda \end{pmatrix} \text{ – матрица теплопроводности;}$$

$\{\mathbf{L}\} = \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \quad \frac{\partial}{\partial y} \quad \frac{\partial}{\partial z} \right\}^T$ – вектор дифференциального оператора;

$\{\mathbf{Q}_e\} = q_w \int_s \{\mathbf{N}\} dS$ – матрица граничных тепловых потоков КЭ;

$\{\mathbf{N}\}$ – вектор формы конечных элементов, который определяет интерполяционные функции в области, ограниченной КЭ.

Для нестационарной задачи теплопроводности можно записать систему нелинейных уравнений в матричном виде:

$$[\mathbf{K}]\{\theta\} = \{\mathbf{Q}_e\}, \quad (2.31)$$

где $[\mathbf{K}]$ – эквивалентная матрица теплопроводности, которая зависит от объемной теплоемкости и коэффициента теплопроводности материала.

В обобщенном виде выражение (2.31) можно записать в виде:

$$\{\mathbf{P}(\theta)\} = \{\mathbf{Q}_e\}, \quad (2.32)$$

где $\{\mathbf{P}(\theta)\}$ – вектор внутренних узловых тепловых потоков, определяемый плотностями тепловых потоков элемента.

Данную систему уравнений можно решить итерационным методом, известным как метод Ньютона-Рафсона [83-88]. При использовании этого метода минимизируется невязка

$$\{\Phi\} \equiv \{\mathbf{Q}_e\} - \{\mathbf{P}(\theta)\} \rightarrow \{0\}. \quad (2.33)$$

Метод Ньютона-Рафсона основан на применении усеченных рядов Тейлора для остаточного вектора невязки. Систему уравнений (2.31) линеаризуем и записываем в виде:

$$[\mathbf{K}_T^{(i-1)}]\{\Delta\theta_e^{(i)}\} = \{\mathbf{Q}^{(i)}\} - \{\mathbf{P}^{(i)}\}. \quad (2.34)$$

При этом выполняются равновесные итерации ($i = 1, 2, 3, \dots$), в результате которых можно определить новые значения температур на каждой итерации из выражения

$$\{\theta^{(i)}\} = \{\theta^{(i-1)}\} + \{\Delta\theta^{(i)}\}. \quad (2.35)$$

Процесс выполнения итераций следует продолжать до тех пор, пока не достигается приемлемая сходимость.

В уравнении (2.35) коэффициенты касательной матрицы $[\mathbf{K}_T]$ определяем из выражения:

$$[\mathbf{K}_T^{(i-1)}] \equiv \left(\frac{d\{\Phi\}}{d\{\theta\}} \right)_{i-1}. \quad (2.36)$$

Разложение вектора $\{\Phi\}$, в усеченных рядах Тейлора, имеет вид

$$\{\Phi^{(i)}\} \cong \{\Phi^{(i-1)}\} + [\mathbf{K}_T^{(i-1)}]\{\Delta\theta^{(i)}\}, \quad (2.37)$$

где $\{\Delta\theta^{(i)}\} = \{\theta^{(i)}\} - \{\theta^{(i-1)}\}$ – искомый вектор приращения температуры для проведения следующей итерации.

В уравнении (2.34) $\{\mathbf{Q}^{(i)}\}$ – вектор узловых тепловых потоков, который рассчитывается при переопределении вектора внешнего заданного теплового

потока $\{Q_{0n}\}$ и эквивалентной матрицы теплопроводности $[K]$; $\{\bar{P}\}$ – эквивалентный вектор узловых внутренних тепловых потоков, вычисляемый при переопределении эквивалентной матрицы теплопроводности, которые определяются путем численного интегрирования по времени вектора $\{\Delta\theta^{(i)}\}$ методом Эйлера.

Эквивалентную матрицу теплопроводности $[K]$ обычно определяют из выражения:

$$[K] = \frac{1}{\zeta \Delta t_n} [C_e] + [K_e], \quad (2.38)$$

Для решения уравнения используем обобщенный закон Стефана-Больцмана [88]:

$$\sum_{j=1}^N [\delta_{ij} - (1 - \varepsilon_i) \varphi_{ij}] q_j^0 = \varepsilon_i \sigma \theta_i^4, \quad (2.39)$$

где q_j^0 – тепловой поток от излучения поверхности j -того КЭ.

Подставив в уравнение (2.35) $\{\theta^{(i)}\}$ – вектор узловых температур, с использованием получим:

$$\{\theta_{n+1}\} - \{\theta_n\} = \Delta t_n (1 - \zeta) \{\theta_n\} + \Delta t_n \zeta \{\theta_{n+1}\}, \quad (2.40)$$

где Δt_n – шаг интегрирования по времени, с;

ζ – параметр Эйлера, равный 0,5, что означает реализацию неявной вычислительной схемы Кранка-Николсона [83, 87].

Учитывая всю совокупность поверхностей КЭ, которые обмениваются излучением, запишем систему нелинейных уравнений в матричной форме, которая имеет вид:

$$[G]\{q^0\} = \{S\}, \quad (2.41)$$

где q^0 –тепловой лучистый поток, определяемый по зависимостям (2.24).

Элементы матрицы $[G]$ определяются с использованием формулы:

$$G_{ij} = \delta_{ij} - (1 - \varepsilon_i)\varphi_{ij}, \quad (2.42)$$

а элементы матрицы $\{S\}$ – с использованием выражения:

$$S_{ij} = \varepsilon_i \sigma \theta^4. \quad (2.43)$$

Систему уравнений (2.42) решаем для каждой излучающей поверхности методом итераций по схеме, которая выражается формулой [88]

$$q_i^n = \psi q_i^{k+1} + (1 - \psi) q_i^k, \quad (2.44)$$

где ψ – релаксационный коэффициент эффективного лучистого теплопотока;

k – номер итерации.

Для решения задачи теплопроводности методом конечных элементов выбран гексаэдрический КЭ лагранжевого типа.

Интерполяционные лагранжевы полиномы определяли с использованием зависимостей приведенных в работах [87,88].

Для решения задачи теплопроводности, в настоящей диссертационной работе, приняты следующие исходные параметры, приведенные в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Исходные параметры для решения задачи теплопроводности

Наименование параметра	Единицы измер.	Значение
Тип анализа		Нестационарный
Автоматический выбор шага интегрирования		Включен
Временной шаг интегрирования	с (мин)	60 (1)
Наименьший временной шаг	с	20
Наибольший временной шаг	с	60
Максимальное количество итераций		1000
Способ приложения тепловой нагрузки		Ступенчатый
Тип вычислительной схемы		Неявная
Пространственный шаг (средний)	мм	0,5
Точность сходимости вычислений	%	0,5

2.4.4. Результаты математического моделирования процесса нагревания оболочки противотепловой защиты

Используя зависимость (2.40), с учетом уравнений (2.41)-(2.44) и вышеприведенных матриц, в настоящей работе получено распределение температуры в слоях противотепловой защиты (рисунок 2.11) во времени для различных воздействующих на него тепловых лучистых потоков (температур) окружающей среды, с учетом температуры охлаждающей воды при средней тяжести выполняемых пожарным-спасателем работы.

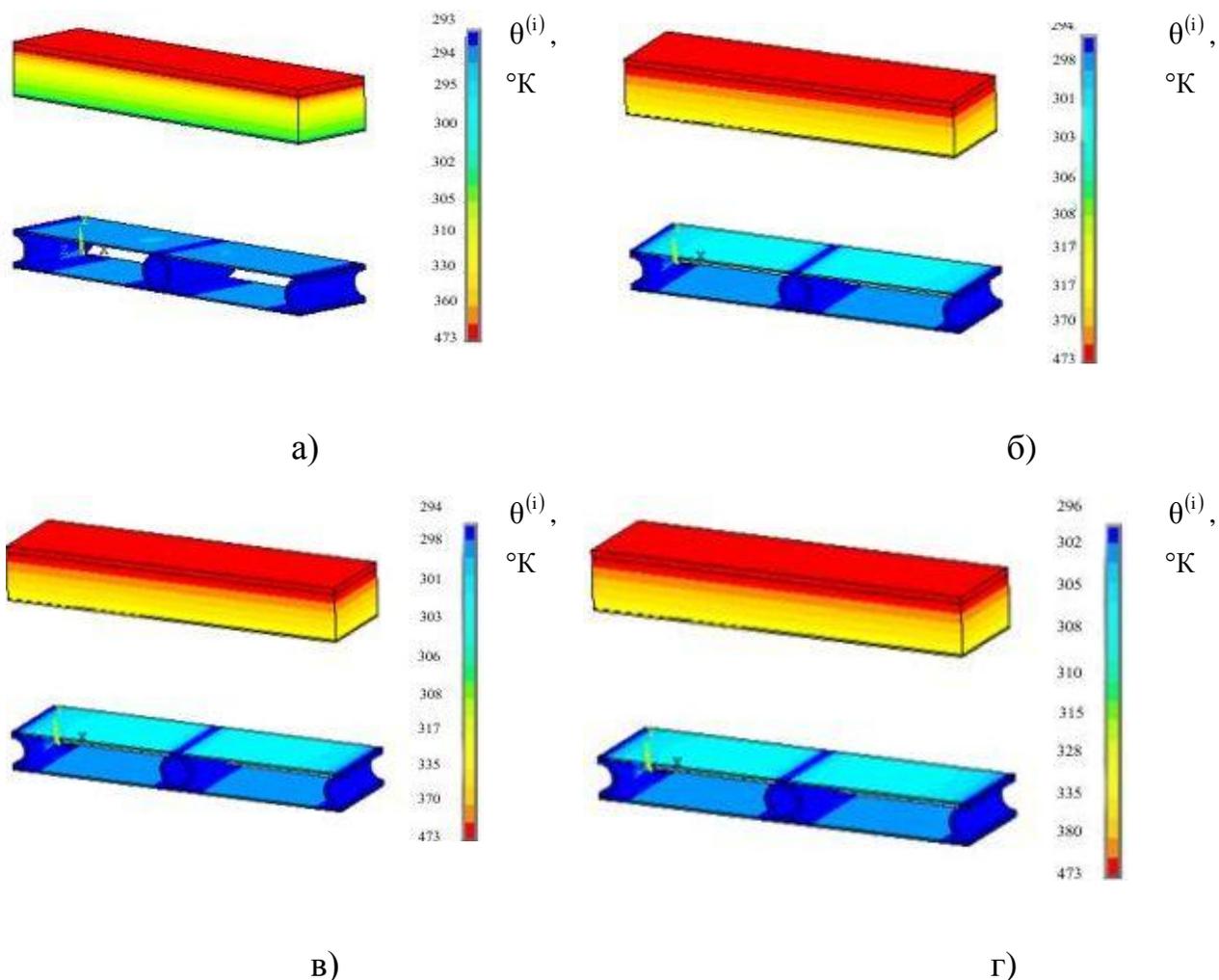


Рисунок 2.11 - Распределение температуры в слоях противотепловой защиты при температуре нагревания поверхностного слоя равной 200°C в различные моменты времени: а – 5 мин; б – 20 мин; в – 45 мин; г – 90 мин.

Распределение температуры в слоях противотепловой защиты, при температуре на ее наружной поверхности 200°C и температуре входящей воды 20°C , представлены на рисунке 2.12 (сплошные линии), а распределение температуры при температурах входящей воды ($20\dots25$) $^{\circ}\text{C}$ на рисунке 2.12 (пунктирные линии).

Согласно медицинским нормам, приведенным в третьем разделе настоящей диссертации, допустимая температура в пододежном пространстве (в воздушном слое) индивидуальной противотепловой защиты, при проведении работ средней тяжести и 100 % - ой влажности окружающей среды, не должна превышать 40°C .

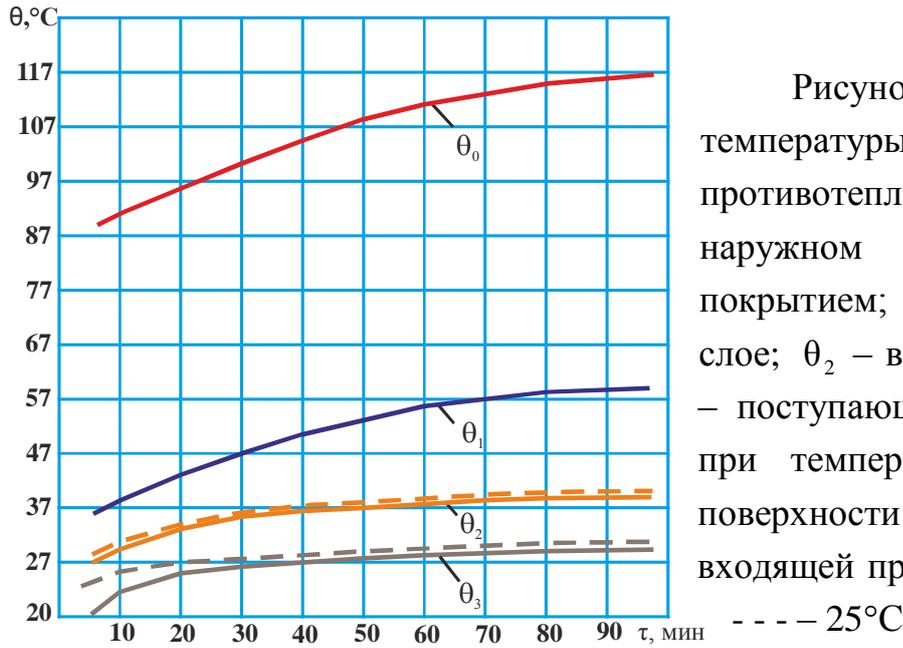


Рисунок 2.12. - Распределение температуры во времени в слоях противотепловой защиты (θ_0 – в наружном слое с отражающим покрытием; θ_1 – в теплозащитном слое; θ_2 – в воздушном прослойке; θ_3 – поступающей на охлаждение воды) при температуре на наружной его поверхности $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и температуре входящей проточной воды: — – $20\text{ }^{\circ}\text{C}$; - - - - $25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Из рисунка 2.12 следует, что это требование выполняется (кривая θ_2) для времени равном 79 мин, которое является временем защитного действия противотепловой защиты при температуре на его наружной поверхности $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При температурах на наружной поверхности костюма $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ это время равно 114 мин и 51 мин, соответственно.

В процессе выполнения диссертационной была создана математическая модель теплообменных процессов в системе «окружающая среда - защитная одежда - организм спасателя», отличающаяся от ранее известных учетом внешнего лучистого потока от пожара и внутреннего метаболического тепла, охлаждения проточной водой, с различными теплоизоляционными свойствами материалов слоев противотепловой защиты, диаметром охлаждающих трубок, расстояния между ними и температурой охлаждающей воды.

2.5. Определение параметров устройства водяного охлаждения противотепловой защиты

Для исследования гидравлических процессов в устройстве водяного охлаждения противотепловой защиты в диапазоне температуры воды,

приведенной в таблице 2.4, проведем оценку ее теплового баланса. Исследование такого теплового баланса необходимо для определения требуемого расхода проточной воды в противотепловой защите, а также для определения параметров дросселирующей шайбы для отбора требуемого количества воды из рукавной линии.

Согласно физиолого-гигиеническим требованиям, предъявляемым к изолирующим средствам индивидуальной защиты, а также на основании результатов многочисленных экспериментальных исследований, полученных ранее авторами работ [10, 38, 72], температура в противотепловой защите пожарных-спасателей, в зависимости от влажности воздуха под одеждой, не должна превышать при выполнении работы средней тяжести (35...40) °С, а при выполнении тяжелой работы - (34...38) °С.

Ограничение температуры в рабочей зоне обусловлено тем, что при температуре воздуха 40°С и относительной влажности (70...80) % темп умственной работы сокращается в два раза, резко падает сосредоточенность внимания, риск ошибок увеличивается в (5...10) раз, при дальнейшем повышении температуры возрастает усталость, нарушается координация движений.

Уравнение тепловой баланс для противотепловой защиты с водяным охлаждением можно представить в виде:

$$Q_v = Q_n + Q_c + Q_p - \Delta Q_d, \quad (2.45)$$

где: Q_v – общее количество тепла, которое необходимо отводить проточной водой из пододежного пространства, Вт;

Q_n – количество тепла, поступающее из окружающей среды в пододежное пространство, Вт;

Q_c – количество тепла, поступающее от спасателя, Вт;

Q_p – количество тепла, выделяемое регенеративным патроном респиратора, Вт;

Q_d – количество тепла, поглощаемое различными деталями в пододежном пространстве, Вт.

Для численного решения уравнения теплового баланса для противотепловой защиты (2.45) необходимо определить составляющие этого уравнения.

Тепло, поступающее из окружающей среды Q_n , определяется с использованием формулы:

$$Q_n = \frac{T_g - T_k}{R_k + R_b} S, \quad (2.46)$$

где: T_g, T_k – температура воздуха окружающей среды и кожи человека, °К;

S – площадь наружной поверхности противотепловой защиты, м²;

R_k, R_b – термические сопротивления теплоотражающей оболочки противотепловой защиты и воздуха, м²·°К/Вт, соответственно.

Из справочных данных известно, что термическое сопротивление воздуха равно $R_b = 0,16$ м²·°К/Вт.

Термическое сопротивление оболочки индивидуальной противотепловой защиты характеризует проникающий через нее тепловой поток при заданных толщине и теплопроводности материала и определяется по формуле:

$$R_b = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (2.47)$$

где: δ_i – толщина i – го слоя материала оболочки, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности i – го слоя материала оболочки, Вт/(м·°К).

При использовании исходных данных получаем, что $R_k = 0,88 \text{ м}^2 \cdot \text{°К/Вт}$.

При температурах наружного воздуха 473 °К , тела человека 310 °К и площади противотепловой защиты равной 3 м^2 [10] по формуле (2.46) получим $Q_n = 482 \text{ Вт}$.

Количество тепла, выделяемого телом пожарного-спасателя, определим по его энергозатратам, с учетом коэффициента полезного действия, при выполнении работы:

$$Q_c = Q_o(1 - \mu), \quad (2.48)$$

где: Q_o – энергозатраты пожарного-спасателя, Вт;

μ – КПД при выполнении работы пожарным-спасателем.

В процессе выполнения работ средней тяжести в тепловой камере величина энергозатрат равна 350 Вт [10]. Приняв величину КПД, равной $0,2$, получим, что тепловой поток $Q_c = 280 \text{ Вт}$.

Тепло, которое выделяется регенеративным патроном респиратора с известковым химвоспителем Q_p , Вт, можно определить по формуле

$$Q_p = \frac{Q_o \kappa_d \rho_y Q_{\text{II}}}{\kappa_k \cdot 10^2}, \quad (2.49)$$

где κ_d – коэффициент потребления кислорода; ρ_y – плотность диоксида углерода, кг/м^3 ; Q_{II} – удельная теплота реакции поглощения диоксида углерода сорбентом, Дж/кг ; κ_k – энергетический эквивалент кислорода, Дж/л .

Согласно данным работы [10] принимаем следующие значения величин, входящих в формулу (2.52): $\kappa_d = 0,88$; $\rho_y = 1,976 \text{ кг/м}^3$; $\kappa_k = 20,5 \text{ кДж/л}$.

Если в качестве сорбента использовать известковый химический поглотитель, то величина $Q_{\text{п}} = 2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг [22]. В конечном результате получаем, что $Q_p = 68$ Вт.

Поглощение теплоты, за счет прироста энтальпии деталей, в пододежном пространстве обычно определяется по формуле:

$$\Delta Q_{\text{д}} = m_{\text{д}} C_{\text{д}} \Delta t_{\text{д}}, \quad (2.50)$$

где: $m_{\text{д}}$ – масса деталей, нагреваемых в пододежном пространстве (респиратор, электрофонарь, радиостанция и др.), кг (принимается равной 14 кг); $C_{\text{д}}$ – теплоемкость деталей, кДж/(кг·°К) (принимается равной 0,42 кДж/(кг·°К)); $\Delta t_{\text{д}}$ – прирост температуры нагревания деталей, °К/ч.

Если детали за первый час нагреваются от 20 °С до 30 °С, т.е. $\Delta t_{\text{д}} = 10$ °К/ч, тогда $\Delta Q_{\text{д}} = 16$ Вт.

Подставив полученные выше данные в формулу (2.46) получим количество тепла $Q_{\text{в}}$, которое необходимо отводить из пододежного пространства посредством проточной воды.

Расход воды G , л/мин, для обеспечения необходимого теплоотвода $Q_{\text{в}}$, Вт, определяется по формуле:

$$G = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}} \cdot C_p \cdot \Delta t}, \quad (2.51)$$

где: $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, кг/м³ ($\rho_{\text{в}} = 103$ кг/м³); C_p – теплоемкость воды, кДж/(кг·°К); ($C_p = 4,187$ кДж/(кг·°К)); Δt – разность температур охлаждающей воды на входе и выходе из индивидуальной противотепловой защиты, °К.

Подставив, полученные данные в формулу (2.51), получим, что при $\Delta t = 3 \text{ }^\circ\text{K}$, величина расхода охлаждающей воды должна быть равной $G = 0,23 \text{ м}^3/\text{ч}$ (3,88 л/мин).

Воду в противотепловую защиту целесообразно подавать через специально созданное устройство для ее отбора из рукавной линии. Такое устройство необходимо устанавливать перед пожарным стволом (рисунок 2.13).

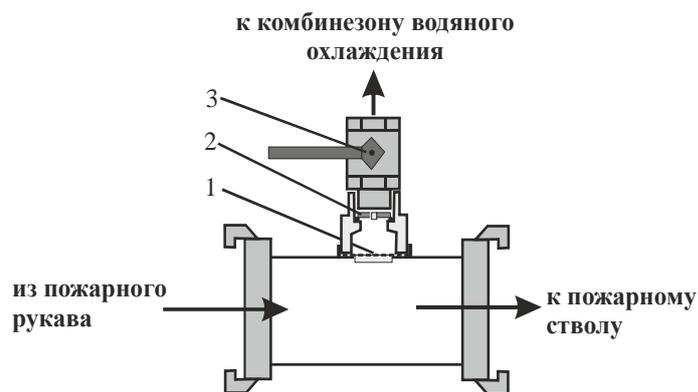


Рисунок 2.13 -

Принципиальная схема устройства для отбора охлаждающей воды из рукавной линии: 1 – фильтрующая сетка; 2 – дросселирующая шайба; 3 – пробковый кран

Диаметр дросселирующей шайбы d , м, для отбора необходимого количества воды легко определить по формуле:

$$d = 3,16 \cdot \sqrt[4]{\frac{G^2}{\Delta P}}, \quad (2.52)$$

где ΔP – избыточное давление, МПа.

Приняв давление у пожарного ствола, равным 0,4 МПа, получим $d = 1,94 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Количество теплоты, отводимое из пододежного пространства проточной водой, можно определить с использованием уравнения:

$$\Delta Q_{\text{вод}} = 60 \cdot m \cdot c_p \cdot \Delta t. \quad (2.53)$$

С учетом исходных данных (см.таблицу 2.6) для различных температур воздуха окружающей среды определили, что $\Delta Q_{\text{вод}} = 2924$ кДж/ч.

Таблица 2.6 - Количество теплоты, отводимое проточной водой из пододежного пространства, в зависимости от температуры окружающего воздуха

$T_{\text{в}},$ К	$T_{\text{к}},$ К	$S,$ м ²	$Q_{\text{н}},$ Вт	$Q_{\text{с}},$ Вт	$Q_{\text{р}},$ Вт	$\Delta Q_{\text{д}},$ Вт	$Q_{\text{г}},$ Вт
373	306	3	193	280	68	16	525
423	306	3	338	280	68	16	670
473	306	3	482	280	68	16	814
523	306	3	770	280	68	16	958

Учитывая теплосъем с различных участков тела пожарных-спасателей [10] можно определить расстояния между трубками проточного водяного охлаждения, а также места расположения коллекторов для ввода и вывода воды в индивидуальной противотепловой защите.

Выводы по главе 2:

1. Установлены зависимости интенсивности тепловых лучистых потоков от очага пожара, которые воздействуют на пожарных-спасателей: от расстояния между ними и очагом пожара, от площади и температуры горящих веществ, от величины коэффициента теплового облучения, интенсивности лучистых потоков, которые падают и проникают через наружный слой костюма с металлизированным покрытием. При одинаковом расстоянии до очага пожара потоки линейно зависят от площади горения, а отношения падающего и

проникающего потоков непропорционально увеличиваются в зависимости от повышения температуры горящих материалов в очаге.

2. Разработана расчетная схема противотепловой защиты, отличительной особенностью которой является использование проточной по поливинилхлоридным трубкам воды из пожарного рукава с минимально возможным количеством теплозащитных слоев, однорядным расположением трубок водяного контура, что обеспечивает простоту изготовления противотепловой защиты с проточной водой и ее минимальную массу.

3. С использованием метода конечных элементов, разработана математическая модель теплообменных процессов в системе «окружающая среда – противотепловой костюм - организм спасателя», которая отличается учетом интенсивности наружного лучистого потока тепла от пожара и внутреннего метаболического тепла, наличием средства водяного охлаждения, теплофизических свойств материалов слоев противотепловой защиты, диаметра и толщины трубок, расстояния между ними, а также температуры подаваемой на охлаждение воды.

4. Эффективность предложенного технического решения, по охлаждению пододежного пространства, достигается при расположении трубок диаметром не менее 3 мм на расстоянии не более 30 мм друг от друга и температуре проточной воды равной (20...25) °С.

5. При допустимой температуре пододежного пространства противотепловой защиты равной 40°С и температуре наружной поверхности теплоотражающей оболочки 200°С время защитного действия противотепловой защиты равно 79 мин. Этого времени вполне достаточно, с точки зрения использования респиратора Р-30 с холодильником, время комфортного дыхания в котором обеспечивается в течение 60 мин.

6. Для обеспечения необходимого отвода тепла из противотепловой защиты необходимо, чтобы расход воды подаваемой в охлаждающие трубки был около 4 л/мин при давлении – 0,4 МПа.

ГЛАВА 3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ПРОТИВОТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ С ОХЛАЖДЕНИЕМ ПРОТОЧНОЙ ВОДОЙ

3.1. Общие сведения

Цель экспериментальных исследований – определение энергетических показателей пожарных-спасателей, при различных видах воздействия на них физических нагрузок, а также, оценка результатов исследований протекающих в ПТЗВО теплообменных процессов.

Исследования были проведены в тепловом комплексе и на опытно-экспериментальном полигоне НИИГД «Респиратор».

Перечень средств измерительной техники и оборудования, для исследования индивидуальной противотепловой защиты с охлаждением проточной водой приведен, в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Перечень измерительных приборов и оборудования для ПТЗВО

Наименование измеряемой величины	Необходимая граница (диапазон измерения)	Необходимая точность (класс, погрешность)	Наименование использованного прибора (материала)	Тип прибора	Обозначение НД
1	2	3	4	5	6
Линейные размеры	(0-220) мм	±0,1 мм	Штангенциркуль	ШЦ 11	ГОСТ166-89
Масса	0,1-1,0 кг (7,530) кг (30-150)кг	±0,001кг 2,5 % ±0,1 %	Весы настольные цифровые Весы медицинские	РНЦ-10 РП- 150МГ	ТУ25.06.130 7-75
Время	(0-60) мин	0,2	Секундомер механический	СоСпр- 26-2- 000 Orient	ТУ25- 1819.0021-90

1	2	3	4	5	6
Температура	(0-50) °С	±1 °С	Термометр стеклянный ртутный электроконтактный	ТПК	ГОСТ 9871-75
	(0-150) °С	Кл.0,5	Потенциометр	КСП2	ДСТУ2857-94 (ГОСТ6616-94)
	от минус 50 °С до плюс 50 °С	±3 °С	Камера климатическая	КТК-800	
	от минус 10 °С до плюс 200 °С	±0,5 °С	Пирометр	НИМБ УС	31557302.00 1.000.000 РЭ
Время	(0-60) мин	0,2	Секундомер механический	СоСпр-26-2-000 Orient	ТУ25-1819.0021-90
Температура	до 50 °С	±2 °С	Камера тепла и влаги	КТВ-04-155	ТУиПЯ7М 1.162.003
Относительная влажность	(30-100) %	±3 %	Психрометр	МВ-4М	ТУ25-1607-054-85
Давление	(20-300) мм.рт.ст.	±2 мм.рт.ст	Измеритель артериального давления мембранный Барометр-анероид	ИАДМ-ОП	ТУ64-1-3878-85
	84,0-106,7КПа (618-784 мм рт.ст.)	±2 мм.рт.ст		БАММ-1	ТУ25-11-1513-79
Температура	(25-120) °С	±3,0 °С	Тепловая камера	ТК-50	Нестандартное оборудование
Влажность	(10-100) %	±5 %	Тепловая камера	ТК-50	Нестандартное оборудование
Частота	(12-60) Гц	±0,5 Гц	Установка вибрационная механическая	УВ-70/200	Аг М1.160.000 ТУ

В процессе исследований противотепловой защиты, с охлаждением проточной водой, принимали участие: медицинский работник, физиолог и специалист по охране труда института.

Как отмечалось ранее, противотепловая защита с водяным охлаждением (ПТЗВО) состоит из: наружной теплоотражательной оболочки (ТК-800), внутреннего комбинезона с охлаждающей проточной водой, а также устройства для отбора воды из рукавной пожарной линии.

Общее время защитного действия противотепловой защиты определяли как сумму времени работы спасателя во внутреннем комбинезоне в тепловой камере при максимальной температуре, которая регламентируется санитарными нормами в пододежном пространстве (40 °С), а также времени его работы в противотепловой защите до достижения этой температуры при тушении очага пожара на полигоне.

Пределом допустимого теплового состояния пожарного-спасателя (испытателя) было принято повышение частоты сердечных сокращений до 150 мин^{-1} [50].

3.2. Методика проведения исследований и результаты энергетических показателей

Продолжительность работы пожарного-спасателя зависит от физической нагрузки, вида и условий выполнения аварийно-спасательных работ.

В процессе исследований теплообменных процессов в противотепловой защите необходимо учитывать тепловой поток от тела испытателя (спасателя) q_h , при средней физической нагрузке. Однако, в реальных условиях пожарные-спасатели выполняют работы, которые относятся не только к средней но и, к тяжелой и очень тяжелой физическим нагрузкам.

В процессе исследований, в качестве переменных величин были выбраны следующие параметры: масса переносимого груза, скорость движения спасателя, высота прохода преодолеваемого участка, угол наклона и направление движения по маршевой лестницей (вверх или вниз) [36, 73,74].

Испытания проводились на специальных тренажерах «Беговая дорожка» и «Бесконечная лестница» теплового комплекса НИИГД «Респиратор», а также в зданиях и сооружениях опытно-экспериментального полигона института.

При выполнении упражнений с различной физической нагрузкой проводили хронометраж, а также определяли энергозатраты с учетом газообмена организма спасателя и многообразия возможных видов работ различной интенсивности.

Перед проведением испытаний проводили опрос испытуемого о его самочувствии, взвешивали, измеряли рост, жизненную емкость легких (ЖЕЛ), а также оценивали физическую работоспособность с помощью Гарвардской шаговой пробы [88].

Исследования проводили в утреннее время через (1,5...2,0) часа после приема пищи. Это нивелировало специфическое динамическое влияние ее приема.

После (15...20) мин отдыха испытуемого определяли физиологические показатели: потребление кислорода, выделение диоксида углерода, легочную вентиляцию, частоту дыхания, частоту сердечных сокращений (ЧСС) и артериальное давление (АД) в покое.

После этого испытуемый надевал комбинезон, респиратор и выполнял упражнения, длительность которых составляла 10 мин или занимало промежуток времени, необходимого для подъема по маршевой лестнице. Исследования подъема по маршевой лестнице под разными углами осуществляли на стенде «Бесконечная лестница».

Определение энергозатрат, при спуске и переносе груза по горизонтальной поверхности проводили на стенде «Беговая дорожка». При каждым испытанием устанавливали выбранную скорость движения ленты.

В процессе выполнения упражнений проводили отбор проб выдыхаемого воздуха (для последующего исследования газообмена) и определяли частоту дыхания. В начале и после окончания каждого упражнения измеряли ЧСС.

На протяжении одного дня проводили 3 - 4 испытания, которые повторяли через (20...50) мин, после полного восстановления физиологических показателей испытуемого.

Исследования газообмена осуществляли с применением дыхательной системы, которая состоит из гофрированных шлангов, клапанной коробки и маски. Шланг выдоха был соединен с модернизированным газовым счетчиком фирмы «Меди» с суммирующим устройством, который определял объем легочной вентиляции в течении испытания за любой промежуток времени. При этом воздух из газового счетчика возвращался в дыхательный мешок респиратора.

Для имитации условий дыхания в респираторах шланг вдоха был оснащен специальной диафрагмой, которая создает совместно со шлангом заданное сопротивление дыханию.

Для исследования влияния на спасателя условий дыхания в шланг выдоха его респиратора был вмонтирован волюметр, который обеспечивал определение ежеминутного объема вдыхаемого воздуха. При этом пробы выдыхаемого воздуха отбирали через штуцер в мешок Дугласа, присоединенного к шлангу выдоха, для последующего анализа с применением газоанализатора Орса и газовых часов. В отобранных пробах определяли концентрации кислорода и диоксида углерода.

С использованием полученных данных проводили расчет потребления кислорода, а через калориметрический эквивалент – энергозатраты спасателя.

Полученные результаты экспериментов были сгруппированы в соответствии с задачами исследований и обработаны методами математической статистики. При этом были определены средние значения величин и их оценка при выполнении работ с различной физической нагрузкой.

Функционально энергозатраты спасателей, при различных физических нагрузках, можно представить в виде:

$$Q_m = f(m_T, m_0, V, q_m, h, \alpha), \quad (3.1)$$

где m_T, m_0 – масса груза и тела спасателя, соответственно, кг;
 V – скорость движения спасателя, м/мин; q_m – количество потребляемого спасателем кислорода, л/мин; h – реальная высота прохода преодолеваемого участка, м; α – угол наклона поверхности участка, °град.

Для определения энергозатрат, в зависимости от вышеприведенных параметров, проведены экспериментальные исследования, по результатам которых можно установить аппроксимирующие зависимости для использования в теоретических исследованиях теплообменных процессов в системе «окружающая среда – противотепловой костюм – организм спасателя».

Для проведения исследований энергозатрат спасателя были определены виды упражнений, перечень которых приведенные в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Виды выполняемых спасателем работ (упражнений)

№ п/п	Наименование видов упражнений
1	Передвижение по горизонтальной поверхности со скоростью (м/мин): 35...45; 55... 70; 75...85; 100...115
2	Бег по горизонтальной поверхности со скоростью 110...125 м/мин
3	Движение по горизонтали при высоте прохода 1,0 и 1,8 м
4	Ползание через узкий проход высотой 0,5; 0,7; 1,0 м
5	Подъем и спуск по вертикальной лестнице
6	Подъем и спуск по маршам лестницы под углом 30°
7	Подъем по лестнице под углом 45°
8	Перенос груза массой 10,20 и 30 кг по горизонтальной поверхности
9	Подъем и спуск с грузом массой 30 кг по маршам лестницы под углом 30°
10	Подъем и спуск с грузом массой 10,20 и 30 кг по лестнице под углом 45° и 65°
11	Перенос пострадавшего на носилках двумя спасателями по горизонтальной поверхности
12	Подъем и спуск пострадавшего на носилках двумя спасателями по маршам лестницы под углом 30° и 45°
13	Подъем и спуск потерпевшего на носилках по лестнице под углом 45°

В процессе исследований принимали участие четыре спасателя, которые имели опыт работы в респираторах и ведения аварийно-спасательных работ.

В процессе выполнения упражнений проводили отбор проб выдыхаемого воздуха для исследования газообмена и определяли частоту дыхания. После выполнения каждого упражнения, в период паузы для отдыха, определяли ЧСС и артериальное давление (АД).

Результаты исследований энергозатрат Q_m , Вт, при движении спасателя по горизонтальной поверхности в полный рост, в зависимости от скорости его движения V , м/мин, потребления кислорода q_k , л/мин, в штатной экипировке без дополнительного груза и с грузом массой 20, 30 кг, а также при переносе пострадавших приведены в таблице 3.3, а результаты аппроксимации – на рисунках 3.1 и 3.2. Под рисунками приведены рассчитанные аппроксимирующие зависимости.

Таблица 3.3 - Результаты исследований энергозатрат спасателя Q_m и потребления кислорода q_k от скорости его движения по горизонтальной поверхности в полный рост

№ п/п	Скорость движения V , м/мин	Без груза (m_0 , кг)		С грузом (m_r), кг				Перенос пострадавшего	
				20		30			
		q_k , л/мин	Q_m , Вт	q_k , л/мин	Q_m , Вт	q_k , л/мин	Q_m , Вт	q_k , л/мин	Q_m , Вт
	45	1,03	317,2	1,20	366,7	1,44	440,1	1,97	571,3
	55	1,24	391,2	–	–	1,58	501,4	2,40	697,5
	70	1,44	453,3	1,57	500,3	1,90	602,3	2,50	827,7
	85	1,57	493,1	–	–	2,24	711,2	3,01	915,3
	100	1,76	554,2	2,04	652,0	2,45	782,3	3,32	1008,2
	115	1,92	603,7	–	–	2,60	828,5	3,62	1097,4
	125	2,07	653,6	2,20	730,8	2,76	877,7	3,87	1172,1

При этом следует отметить, что тяжесть работ, выполняемых спасателем, определяется следующими диапазонами энергозатрат (Вт): до 160 (отдых в респираторе) – легкая; от 160 до 320 – средняя; от 320 до 480 – тяжелая; больше 480 – очень тяжелая.

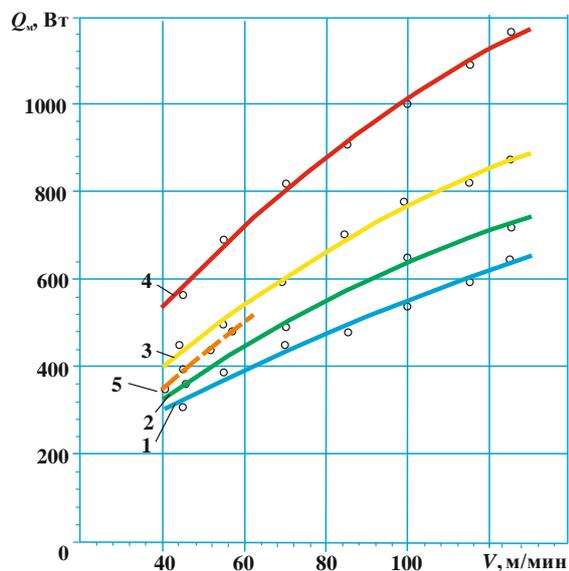


Рисунок 3.1 - Зависимость энергозатрат спасателя от скорости его движения по горизонтальной поверхности в полный рост: 1 – в экипировке; 2, 3 – с грузом 20, 30 кг; 4 – перенос пострадавшего; 5 – для горноспасателей без дополнительного груза

$$\begin{aligned}
 1- Q_M &= -0.009 * V^2 + 5.4466 * V + 104.2662, R=0.994; \\
 2- Q_M &= -0.0199 * V^2 + 8.0012 * V + 44.5064, R=0.9946; \\
 3- Q_M &= -0.0237 * V^2 + 9.4116 * V + 70.1716, R=0.9929; \\
 4- Q_M &= -0.0304 * V^2 + 12.2702 * V + 98.5867, R=0.993.
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

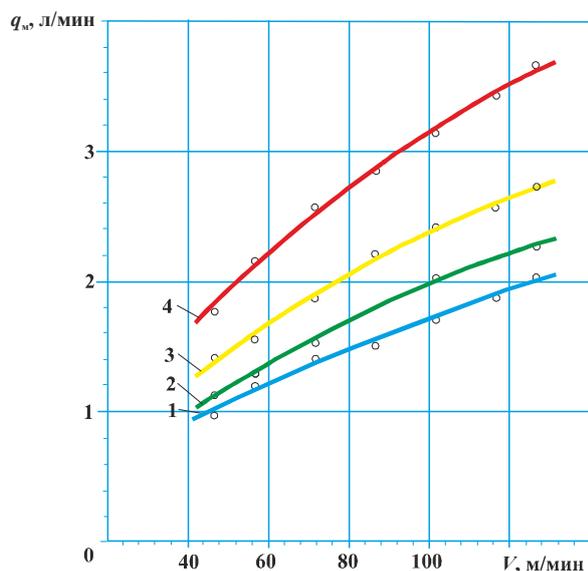


Рисунок 3.2 - Зависимость потребления кислорода спасателем от скорости его движения по горизонтальной поверхности в полный рост: 1 – в экипировке; 2, 3 – с грузом 20, 30 кг; 4 – при переносе пострадавшего

$$\begin{aligned}
1- q_M &= -2.616 \cdot 10^{(-5)} \cdot V^2 + 0.0168 \cdot V + 0.3426, R=0.9939; \\
2- q_M &= -6.1818 \cdot 10^{(-5)} \cdot V^2 + 0.0251 \cdot V + 0.1384, R=0.9947; \\
3- q_M &= -7.4851 \cdot 10^{(-5)} \cdot V^2 + 0.0295 \cdot V + 0.2266, R=0.9929; \\
4- q_M &= -9.3106 \cdot 10^{(-5)} \cdot V^2 + 0.0382 \cdot V + 0.3235, R=0.9934.
\end{aligned}
\tag{3.3}$$

Анализ проведенных выше зависимостей показывает, что имеет место нелинейное распределение энергозатрат спасателя с выпуклостью вверх, от скорости движения. При этом, в большей степени это наблюдается с грузами 20 (кривая 2), 30 (кривая 3) кг и при переносе пострадавшего (кривая 4), а их значения изменяются от 554 до 1172 Вт. Эти энергозатраты относятся к категориям тяжелой и очень тяжелой физических нагрузок. Отношение энергозатрат горноспасателей (штриховая линия 5 на рисунке 3.1) к энергозатратам спасателей в экипировке (кривая 1), равняется 1,3. В данном случае энергозатраты, по сравнению с ранее полученными результатами работы для пожарных [74], выше на 20%.

Результаты исследований энергозатрат от скорости движения, потребления кислорода, при перемещении по проходу ограниченной высоты приведены в таблице 3.3, а полученные зависимости представлены на рисунках 3.3-3.5.

При этом за абсциссу принята относительная высота h_o

$$h_o = h / h_{\max}, \tag{3.4}$$

где: h , h_{\max} – реальная и максимальная высота прохода преодолеваемого участка, а $h_{\max} = 2$ м, так как при такой высоте скорость движения и энергозатраты спасателей равна значениям при их движении в полный рост.

Таблица 3.3 - Результаты исследований скорости движения, потребления кислорода и энергозатрат спасателя при разной высоте прохода преодолеваемого участка

№ п/п	Высота, h_0 , м	Скорость движения, V , м/мин				Потребление кислорода, q_k , л/мин				Энергозатраты, Q_k , Вт			
		без груза	с грузом 20 кг	с грузом 30 кг	перенос пострадавшего	без груза	с грузом 20 кг	с грузом 30 кг	перенос пострадавшего	без груза	с грузом 20 кг	с грузом 30 кг	перенос пострадавшего
1	0,9	55,0	50,2	44,3	18,3	1,24	1,31	1,58	2,40	391,2	417,0	501,4	697,5
2	0,8	53,4	43,6	38,8	10,2	1,27	1,35	1,62	2,48	399,0	429,5	516,4	711,5
3	0,7	45,6	37,8	30,1	7,3	1,35	1,51	1,75	2,52	422,9	481,0	526,7	754,2
4	0,6	32,7	26,7	20,3	4,7	1,50	1,74	2,01	2,75	469,4	553,2	605,7	837,2
5	0,5	20,3	14,8	9,2	3,5	1,75	1,92	2,25	3,15	549,2	608,5	678,4	979,5

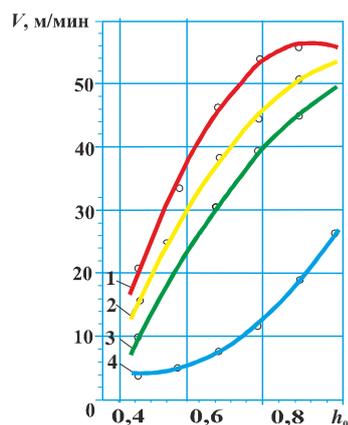


Рисунок 3.3 - Зависимость скорости движения спасателя от безразмерной высоты проема преодолеваемого участка: 1 – без груза; 2,3 – с грузом 20, 30 кг; 4 – перенос пострадавшего

$$1- V = -190.7143 \cdot h_0^2 + 357.1 \cdot h_0 - 111.3057, R = 0.9674$$

$$2- V = -113.5714 \cdot h_0^2 + 246.7 \cdot h_0 - 80.1486, R = 0.9873 \quad (3.5)$$

$$3- V = -87.8571 \cdot h_0^2 + 211.7 \cdot h_0 - 74.8429, R = 0.9929$$

$$4- V = 95 \cdot h_0^2 - 97.1 \cdot h_0 + 28.48, R = 0.9523$$

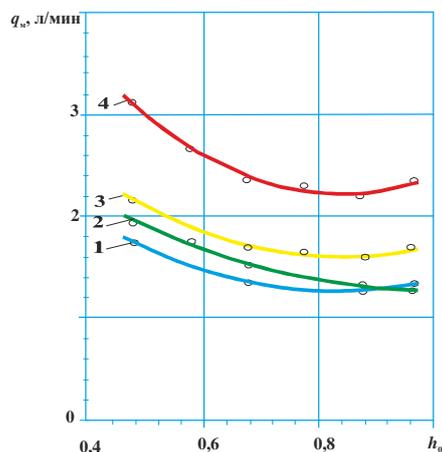


Рисунок 3.4 - Зависимость потребления кислорода спасателем от безразмерной высоты проема преодолеваемого участка: 1 – без груза; 2,3 – с грузом 20, 30 кг; 4 – перенос пострадавшего

$$\begin{aligned}
 1- q_M &= 3.7143 * h_0^2 - 6.4 * h_0 + 3.9977, R=0.938 \\
 2- q_M &= 2.5 * h_0^2 - 5.11 * h_0 + 3.868, R=0.9781 \\
 3- q_M &= 4.1429 * h_0^2 - 7.18 * h_0 + 4.6911, R=0.9371 \\
 4- q_M &= 6.6429 * h_0^2 - 11.47 * h_0 + 7.1431, R=0.9392
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

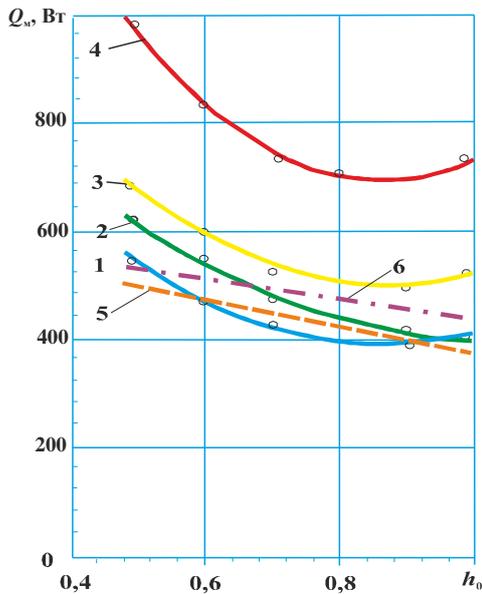


Рисунок 3.5 - Зависимость энергозатрат спасателя от безразмерной высоты проема преодолеваемого участка: 1 – без груза; 2, 3 – с грузом 20, 30 кг; 4 – перенос пострадавшего; 5 – для горноспасателей без груза; 6 – для пожарных с грузом 30 кг [74]

$$\begin{aligned}
 1- Q_M &= 1190 * h_0^2 - 2052.4 * h_0 + 1276.12, R=0.9387 \\
 2- Q_M &= 759.2857 * h_0^2 - 1569.7 * h_0 + 1209.3943, R=0.9788 \\
 3- Q_M &= 1315 * h_0^2 - 2284.3 * h_0 + 1494.08, R=0.9369 \\
 4- Q_M &= 2120.7143 * h_0^2 - 3658.7 * h_0 + 2275.5057, R=0.9389 \\
 5- Q_M &= -35.7143 * h_0^2 - 195 * h_0 + 605.7143, R=0.9985 \text{ (для горноспасателей)}
 \end{aligned}
 \tag{3.7}$$

Анализ равенств (3.7) свидетельствует о том, что имеет место существенная нелинейность от высоты проема преодолеваемого участка. При этом, энергозатраты принимают значения от 391 до 980 Вт, что относит их категории тяжелой и очень тяжелой физической нагрузки. Кроме этого следует заметить, что максимальное значение энергозатрат (штриховая линия 5, рисунок 3.5) для горноспасателей без дополнительного груза меньше в 1,2 раза от соответствующего значения для пожарных. Величина энергозатрат, по сравнению с данными работы [74], при относительной высоте проема равной

0,5 в 1,3 и 1,6 раза больше по сравнению с энергозатратами при движении в экипировке с грузом 30кг и переносе пострадавшего, соответственно.

Результаты исследований по определению потребления спасателем кислорода и энергозатрат при движении по наклонной поверхности, в том числе по лестнице, расположенной под разными углами, приведены в таблице 3.4, и на рисунках 3.6, 3.7. При этом принято, что движение вниз осуществляется под отрицательными, а вверх - под положительными углами.

Таблица 3.4 - Энергозатраты спасателя при спуске по лестнице с различным наклоном при различных нагрузках

Угол α°	Без груза		Перенос груза 30 кг		Перенос пострадавшего	
	q_k , л/мин	Q_m , Вт	q_k , л/мин	Q_m , Вт	q_k , л/мин	Q_m , Вт
0	1,24	391,2	1,58	501,4	2,40	697,5
30	1,72	543,9	1,74	551,5	2,78	809,1
45	1,86	587,3	2,21	634,2	3,22	881,9
65	2,27	716,5	2,65	761,0	—	—
90	2,65	833,3	3,72	1065,4	—	—
-30	1,05	326,0	1,72	496,4	2,38	690,6
-45	1,09	435,7	1,73	550,7	1,57	500,7
-90	1,43	446,0	2,20	635,3	—	—

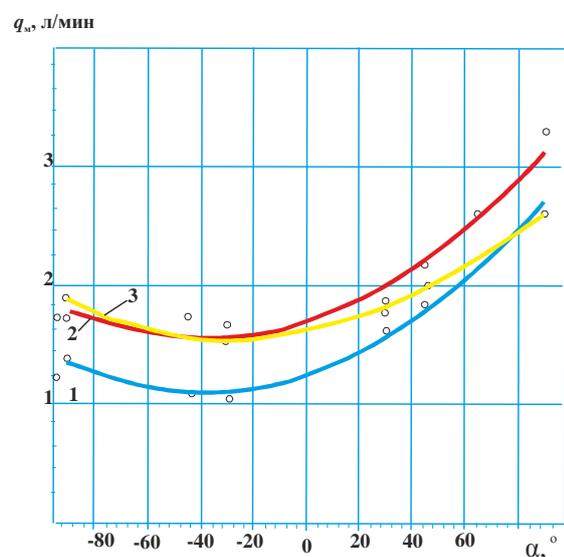


Рисунок 3.6 - Зависимость потребления кислорода спасателем от угла наклона преодолеваемого участка: 1 - без груза; 2 - с грузом 30 кг; 3 - при переносе пострадавшего

$$\begin{aligned}
 1- q_M &= 9.8097 \cdot 10^{(-5)} \cdot \alpha^2 + 0.0076 \cdot \alpha + 1.2459, R=0.9361 \\
 2- q_M &= 0.0001 \cdot \alpha^2 + 0.007 \cdot \alpha + 1.6942, R=0.9312 \\
 3- q_M &= 7.1504 \cdot 10^{(-5)} \cdot \alpha^2 + 0.0046 \cdot \alpha + 1.6303, R=0.9328
 \end{aligned}
 \tag{3.8}$$

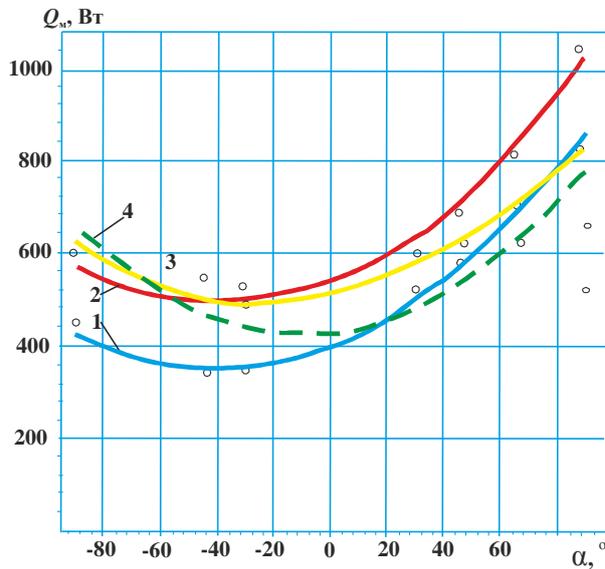


Рисунок 3.7 - Зависимость энергозатрат спасателя от угла наклона преодолеваемого участка: 1 – без груза; 2 – с грузом 30кг; 3 – при переносе пострадавшего; 4 – для горноспасателей с грузом 30кг

$$\begin{aligned}
 1- Q_M &= 0.0305 \cdot \alpha^2 + 2.423 \cdot \alpha + 400.6093, R=0.9321 \\
 2- Q_M &= 0.0361 \cdot \alpha^2 + 2.2428 \cdot \alpha + 539.0854, R=0.9422 \\
 3- Q_M &= 0.0236 \cdot \alpha^2 + 1.4556 \cdot \alpha + 518.1381, R=0.9484 \\
 4- Q_M &= 0.0363 \cdot \alpha^2 + 0.6522 \cdot \alpha + 430.5501, R=0.9387
 \end{aligned}
 \tag{3.9}$$

В рассматриваемом случае энергозатраты нелинейно связаны с углом наклона лестницы и изменяются, в диапазоне от 391 до 1065 Вт (в работе [74] от 320 до 800 Вт), что относит их к категории физической нагрузки как тяжелая и очень тяжелая. При этом отношение энергозатрат по сравнению с ранее полученными равно 1,20 и 1,33, при движении с грузом 30 кг вверх и вниз при $\alpha = 60^\circ$.

Следует отметить, что вышеприведенные зависимости (3.5-3.9), в основном получены при ведении работ спасателями в респираторе при полной видимости и температуре окружающего воздуха не выше 27°C .

Если условия отличаются от приведенных ранее, при расчете скорости движения спасателя необходимо ввести поправочный коэффициент, который является произведением трех частных коэффициентов: $K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$ [73].

Коэффициент K_1 учитывает снижение скорости движения при задымлении окружающей среды и при следующих ограничениях принимает значения:

$$K_1 = 0,1l, \quad K_1 = \begin{cases} 0,2, & \text{если } l \leq 2 \text{ м;} \\ 1,0, & \text{если } l \geq 10 \text{ м,} \end{cases}$$

где l – длина зоны видимости при задымлении, м.

Коэффициент K_2 учитывает уменьшение скорости движения при повышенной температуре воздуха окружающей среды и принимает значения при следующих ограничениях:

$$K_2 = 1 - 0,08(t - 27), \quad K_2 = \begin{cases} 1,0, & \text{если } t \leq 27 \text{ } ^\circ\text{C;} \\ 0,812, & \text{если } t \geq 50 \text{ } ^\circ\text{C,} \end{cases}$$

где t – температура воздуха, $^\circ\text{C}$.

Коэффициент K_3 , учитывающий необходимость использования изолирующего респиратора при движении в непригодной для дыхания окружающей среде, равен единице, а при движении в нормальной среде – $K_3 = 1,2$.

Приведенные выше зависимости позволяют определять энергетические показатели при планировании выбора разных маршрутов на учебных полигонах, проведении аварийно-спасательных работ, а также проводить

исследования теплообменных процессов в защитной одежде, обеспечивая при этом повышение безопасности спасателей.

3.3. Исследование теплового состояния пожарного-спасателя в тепловой камере

Основной целью исследований теплового состояния организма спасателя в комбинезоне водяного охлаждения является определение времени защитного действия при выполнении заданных видов работы в соответствующих температурно-климатических условиях, а также подтверждение этого параметра, полученного в результате теоретических исследований.

Комбинезон с водяным охлаждением (КВО) и устройство для отбора воды из рукавной пожарной линии разработаны при активном участии соискателя и изготовлены в НИИГД «РЕСПИРАТОР».

Комбинезон представляет собой двухслойное изделие с вшитыми между слоями поливинилхлоридными трубками с внутренним диаметром 3 мм. Вода, отобранная из рукавной линии, посредством устройства со специальной вставкой, через входящий штуцер проходит по восьми направлениям, охлаждая различные части тела спасателя. Нагретая вода из комбинезона по двум выводящим коллекторам сбрасывается в окружающую среду. Общая масса такого двухслойного комбинезона составляет 3 кг. Масса используемой воды в трубках – 1,9 кг.

В процессе выполнения настоящей диссертационной работы были разработаны программа и методика испытаний экспериментального образца ПТК КВО. 00.000 ПМ1 (ПРИЛОЖЕНИЕ А).

Критериями оценки теплового состояния спасателя являются физиологические параметры: ЧСС, температура тела, а также температура в пододежном пространстве (между наружной теплоотражающей оболочкой и внутренним комбинезоном) противотепловой защиты.

Испытания внутреннего комбинезона водяного охлаждения противотепловой защиты проводили в тепловой камере при температурах 37 и 40°C, относительной влажности 75 и 65%, соответственно.

Тепловая камера (рисунок 3.8), с общим внутренним объемом 50 м³ и площадью пола 20 м², с пределом изменения температуры до 60°C и относительной влажности до 100 %, оборудована эргометром, ступенькой «степ-тест», площадкой для переноса груза. Контрольно-измерительная аппаратура позволяет с пульта управления дистанционно контролировать следующие физиологические параметры испытуемого: ЧСС, температуру тела, артериальное давление, а также температуру в подкостюмном пространстве.

Методика исследования комбинезона противотепловой защиты сводится к определению времени его защитного действия при регламентированных условиях и заключается в следующем. На первом этапе исследования проводят в тепловой камере при температуре окружающего воздуха 37 °С и относительной влажности 75 %, которые контролировали с применением уравнивающего моста переменного тока КСМ 2-04 (ГОСТ 7164-91) и стерилизатора парового ВК-75 (ТУ 64-13667-82) соответственно. Камера для испытаний оборудована: ступенькой «степ-тест» (ТУ 12.04675546.577-2001); вертикальным эргометром (ТУ. У 12.046.755.45.577-01) - для моделирования физической нагрузки; метрономом звуковым комбинированным (ТУ-64-1-788-02) - для задания ритма работы; термометрами контроля параметров микроклимата (ГОСТ 28498-90).

Перед исследованиями спасатель проходил предварительный медицинский осмотр и получал заключение «Годен к участию в испытаниях средств индивидуальной защиты», изучал условия испытаний и обучался выполнению работе в комбинезоне.

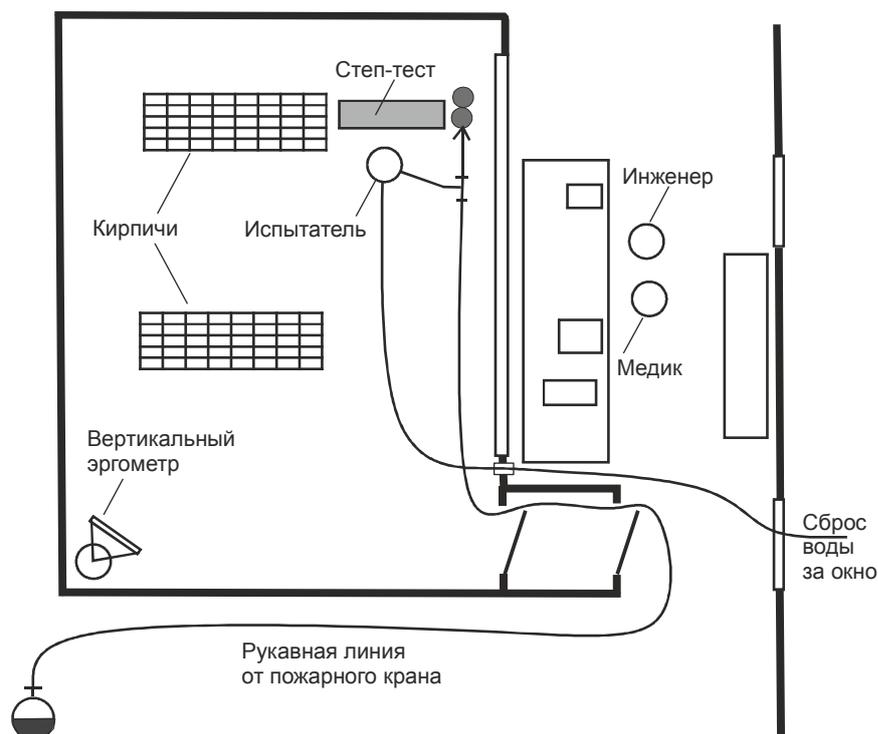


Рисунок 3.8 -
Схема расположения
испытательных
приборов и
оборудования в
тепловой камере на
период испытаний

Перед началом испытаний определяли массу спасателя без оснащения (рисунок 3.9а) и в комбинезоне водяного охлаждения противотепловой защиты с респиратором Р-30 (рисунок 3.9б) на медицинских весах (ТУ 64-1389) [89], а также определяли влияние противотепловой защиты на подвижность испытуемого в нормальных микроклиматических условиях, ограничение движений при ходьбе, наклонах туловища, приседаниях, поднимании и отведении в сторону рук и ног, вращении головой и ее наклонах.

Оценку подвижности проводили по пятибалльной шкале: 5 – подвижность не ограничена; 4 – движения в полном объеме с незначительными усилиями; 3 – движения в полном объеме с умеренными усилиями; 2 – движения в ограниченном объеме с ярко выраженными усилиями; 1 – движения в заданном объеме невозможны [10].



а



б

Рисунок 3.9 - Определение веса спасателя без оснащения (а) и в комбинезоне водяного охлаждения с респиратором Р-30 (б)

Артериальное давление контролировали при помощи сфигмоманометра по методу Н.С. Короткова [90, 91] до начала и после окончания испытаний.

Кроме значений систолического и диастолического артериального давления исследовали пульсовое и среднединамическое давление, то есть усредненную величину давления крови в артерии на протяжении сердечного цикла (сistolы и диастолы), которое определяли расчетным методом по Хикему [91].

В лабораторных условиях на испытуемом укрепляли датчики температуры кожи в области лба, груди, предплечья, голени, стопы, ноги и кисти руки (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 - Крепление датчиков для определения температуры тела спасателя

Измерение температуры подкостюмного пространства производили полупроводниковыми термометрами типа ТЭМП, градуированные характеристики которых отвечали требованиям ГОСТ 6651-94 [92] и ГОСТ 8.157-75[93].

Кроме контроля изменения температуры пододежного пространства, фиксировали частоту сердечных сокращений с применением электрокардиографа ЭК1Т-04 (ТУ 64-1-3100-78), которая не должна превышать 150 мин^{-1} .

Результаты выполненных измерений фиксировали в протоколе испытаний.

Функциональное состояние спасателя и возможность им выполнять работы оценивали по следующим показателям: ограничение подвижности, ЧСС, температура пододежного пространства, (сопоставляли с санитарными нормами), выносливость к статической нагрузке, время зрительно-моторной

реакции, качество выполнения корректурной пробы, самооценка испытуемым функционального состояния и работоспособности.

Определение работоспособности во внутреннем комбинезоне противотепловой защиты проводили в соответствии с требованиями изложенными в работе [94] и КД 12.08.09.001-2000 [95].

Выносливость к статической нагрузке определяли механическим динамометром, с пределом измерений 10^3 Н, перед началом и в конце испытаний, а оценку – по продолжительности удержания спасателем усилия, которое соответствует 75 % от его максимальной величины.

Время зрительно-моторной реакции испытуемого определяли с применением хронорефлексометра, оснащенного электронным хронометром типа ТХР-56. При этом испытуемый находился на расстоянии (0,6...0,8) м от экрана хронорефлексометра. В процессе исследования подавали 100 последовательных световых сигналов, с паузой между ними от 3 до 5 с. В момент восприятия сигнала спасатель как можно быстрее должен нажимать на кнопку выключателя. При перерасчете первые пять (из 105) реакций не учитывали. Допустимым считали увеличение среднего времени реакции до 300 мс. Степень концентрации и устойчивость внимания исследовали с использованием корректурной пробы, предложенной Б. Бурдоном [96]. Обследование проводили с применением специальных бланков с рядами, расположенными в случайном порядке букв (таблица Анфимова) или колец с разрывами в разные стороны (таблица Ландольта). Спасатель просматривал ряд за рядом и вычеркивал, указанные в инструкции, буквы и кольца с разрывами, направленными в определенную сторону.

Качество выполнения корректурной пробы определяли по количеству букв или колец в соответствующих таблицах, которые спасатель успевал просмотреть за 5 мин, вычеркивая обусловленные буквы или кольца, а также по количеству допущенных при этом ошибок. Общее количество просмотренных знаков должно быть не менее 700, количество ошибок – не более 10.

Самооценку спасателем функционального состояния проводили по показателям психофизиологического комфорта пятибалльной шкалы: 5 – высокий уровень комфорта (самочувствие очень хорошее); 4 – самочувствие хорошее; 3 – незначительный дискомфорт; 2 – выраженный дискомфорт; 1 – резкий дискомфорт (самочувствие очень плохое).

Результаты самооценки регистрировали до начала и в конце испытаний. После окончания испытаний спасатель давал по тем же шкалам интегральную оценку функционального состояния, а также указывал основные причины дискомфорта. Граница допустимого теплового состояния – самочувствие, оцененное в 3 бала.

Самооценку спасателем работоспособности в защитной одежде производили по пятибалльной шкале: 5 – работоспособность высокая; 4 – слегка снижена; 3 – умеренно снижена; 2 – значительно снижена; 1 – неработоспособная. Периодичность самооценки спасателем функционального состояния и работоспособности, не реже одного раза в течение 10 мин, оценивали по переговорному устройству.

Полученные результаты по каждому показателю, характеризующему функциональное состояние испытуемого и возможность выполнения работы в защитной одежде в заданных условиях, подвергали статистической обработке по ГОСТ 8.207-76 ГСИ [97]. За результат принимали среднеарифметическое значение с достоверной вероятностью 0,95.

После проведения указанных измерений спасатель самостоятельно надевал внутренний комбинезон костюма с респиратором (рис. 3.11), затем входил в тепловую камеру и последовательно выполнял работу на ступеньке (рисунок 3.12) и вертикальном эргометре (рисунок 3.13), виды которой, последовательность и режим, в том числе отдыха (рисунок 3.14), приведены в таблице 3.5.



Рисунок 3.11 - Спасатель направляется в тепловую камеру



Рисунок 3.12 -
Выполнение спасателем
упражнения на стенде
«степ - тест»



Рисунок 3.13 - Спасатель
выполняет работу на
вертикальном эргометре



Рисунок 3.14 -
Отдых спасателя между
упражнениями

Таблица 3.5 - Регламент работы спасателя во время испытаний в микроклиматической камере

№ п/п	Вид работы	Режим, мин	
		работы	отдыха
1	Подъем на ступеньку высотой 20 см и спуск с нее с частотой 15 мин ⁻¹	10	5
2	Работа на вертикальном эргометре, подъем и опускание груза массой 10 кг на высоту 1,2 м с частотой 20 мин ⁻¹	10	5
3	Повторение работы: по п.п. 1,2 и т.д.	10	5

Этот режим работы соответствует величине энергозатрат спасателя равной 280 Вт, т.е. работе средней тяжести. При этом спасатель проводил один и тот же опыт при двух значениях температуры в тепловой камере.

В конце каждого этапа работы и отдыха у спасателя измеряли и регистрировали частоту сердечных сокращений, температуру в подкостюмном пространстве, давление кислорода в баллоне респиратора и время от начала работы.

Временем защитного действия считали время от начала работы до достижения одного из параметров допустимого теплового состояния регламентированного требованиями для средней тяжести работы, т.е. допустимого значения температуры в любой точке пододежного пространства (таблица 3.6) и вышеуказанной ЧСС. Эта температура не должна превышать в Украине 40 °С, в России – 50 °С.

При энергозатратах спасателя больше 480 Вт работа считается очень тяжелой. Температура пододежного воздуха, в зависимости от его влажности, должна принимать значения пропорционально диапазону изменения энергозатрат, начиная с 36 °С, при относительной влажности до 40%.

Таблица 3.6 - Допустимый микроклимат в противотепловой одежде

Относительная влажность подкостюмного воздуха, %	Температура подкостюмного воздуха, °С			
	Покой (до 90 Вт)	Легкая работа (от 90 до 160 Вт)	Работа средней тяжести (160 до 320 Вт)	Тяжелая работа (320 до 480 Вт)
До 40	44	42	40	38
До 70	42	40	39	37
До 100	39	36	35	34

Результаты испытаний представлены в таблицах 3.7-3.9.

Таблица 3.7 - Антропологические показатели состояния спасателя

Ф.И.О.	Возраст, годы	Рост, см	Масса, кг	Температура тела, °С	ЧСС, мин ⁻¹	АД, мм рт. ст.
Завьялов Г.В.	59	171	80,5	36,9	80	115/78

Таблица 3.8 - Эргометрические показатели спасателя при работе в противотепловой защите в тепловой камере при температуре воздуха 37 °С и влажности 75 %

Время от начала эксперимента, мин	Вид физической нагрузки	Частота пульса, мин ⁻¹	Температура кожи(на бедре), °С
	Исходные данные	100	31
10	Ходьба в тепловой камере	112	30
15	Отдых	100	30
25	Степ-тест	128	30
30	Отдых	120	27
40	Эргометр	132	28
45	Отдых	118	28
55	Степ-тест	140	31
60	Отдых	128	30
65	Эргометр	144	30

При этом масса спасателя в экипировке – 97,2 кг. Температура воды на входе в комбинезон была равна плюс 22 °С, на выходе из комбинезона – 27 °С, то есть градиент температуры равен 5°С.

Таблица 3.9 - Показатели состояния испытуемого при работе в комбинезоне с водяным охлаждением в тепловой камере при температуре 40 °С и влажности 65 %

Время от начала эксперимента, мин	Вид физической нагрузки	Частота пульса, мин ⁻¹	Температура кожи(на бедре), °С
	Исходные данные	116	33
10	Степ-тест	130	30
15	Отдых	104	32
25	Эргометр	132	31
30	Отдых	126	27
40	Степ-тест	142	30
45	Отдых	128	26
55	Эргометр	144	28
60	Отдых	108	29
70	Степ-тест	150	30

Время защитного действия комбинезона противотепловой защиты с водяным охлаждением, при температуре воздуха окружающей среды в тепловой камере 37 °С и влажности 75 %, составляет 65 мин (см. таблицу 3.8), а при температуре 40°С и влажности 65% – 70 мин (см.таблицу 3.9). При этом оценка спасателем подвижности в комбинезоне – 5 баллов, самооценка теплового функционального состояния и работоспособность соответственно 4 и 5 баллов. При этом выносливость к статической нагрузке снижена незначительно (на 15%).

3.4. Методика и результаты исследований на опытно-экспериментальном полигоне

Для проведения испытаний индивидуальной противотепловой защиты на опытно-экспериментальном полигоне НИИГД «Респиратор» была выбрана ровная площадка размерами 100x100 м, на которой из пиломатериалов и автомобильных шин был сформирован штабель размером 3x3 м и высотой 2 м.

Схема расположения приборов и оборудования на опытно-экспериментальном полигоне на период испытаний приведена на рисунке 3.15.

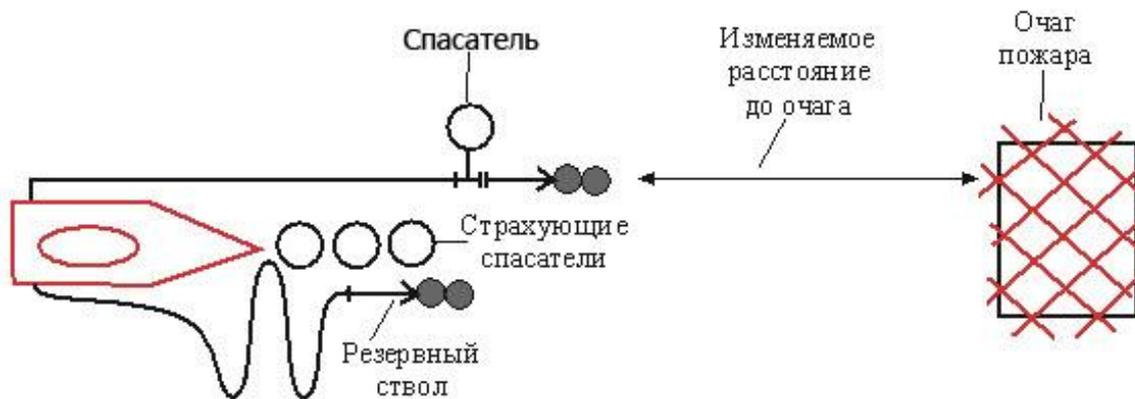


Рисунок 3.15 - Схема расположения на период испытаний приборов и оборудования на опытно-экспериментальном полигоне

При этом, для снижения давления в комбине зоне водяного охлаждения в водозаборном устройстве устанавливали дросселирующую шайбу с диаметром отверстия 1,9 мм. При рабочем давлении у пожарного ствола равном 0,4 МПа это позволило снизить давление до 0,0275 МПа и отбирать для охлаждения пододежного пространства 0,24 м³/ч (3,88 л/мин.) воды из рукавной линии от пожарного автомобиля.

В качестве наружной оболочки противотепловой защиты был использован теплоотражающий костюм ТК-800, находящийся на оснащении пожарно-спасательных подразделений МЧС ДНР. Масса наружной оболочки – 6,5 кг.

Аналогичную предварительную подготовку проводили при совместном использовании внутреннего комбинезона водяного охлаждения (рисунок 3.16) и наружной теплоотражающей оболочки (рисунок 3.17).



Рисунок 3.16. Крепление датчиков температуры кожи



Рисунок 3.17 - Снаряжение спасателя в наружную оболочку

В процессе проведения испытаний температура воздуха окружающей среды была равна 35°C . Из рукавной линии пожарного автомобиля подачу воды в комбинезон подавали при давлении равном $0,0275\text{ МПа}$.

Изменение температуры, воздействующей на наружную теплоотражающую оболочку костюма, определяли приближением или удалением спасателя от горящего штабеля по показаниям пирометра. Физическую нагрузку имитировали перемещением испытателя с пожарным стволом вдоль фронта очага пожара.

Для определения величины температуры равной 200 °С, которая образуется на наружной оболочке противотепловой защиты (от теплового лучистого потока), использовали зависимости (2.18), (2.19) при следующих данных: $\Theta_{\max}=1473$ °К, $\varepsilon_{\kappa}=0,22$ (для ТК-800), $\Theta_0=308$ °К (35 °С), $\sigma=5,67 \cdot 10^{-11}$ кВт/(м²·°К⁴). Результаты исследований показали, что температура примет это значение на расстоянии от фронта пламени до спасателя равном 2,3 м.

В процессе испытаний спасатель подходил к фронту очага пожара (рисунок 3.18), останавливался на расстоянии от него около 2 м (рисунок 3.19). При этом температура на наружной теплоизолирующей оболочке костюма достигала около (180...220) °С, которую периодически, через каждые 2 мин, измеряли пирометром с фиксацией ее величины в течение 5 сек (рисунок 3.20).

Все данные, полученные в результате проведения исследований, фиксировались в протоколе испытаний противотепловой защиты.



Рисунок 3.18 – Подход испытателя с пожарным стволом к очагу пожара



Рисунок 3.19 - Контроль испытателем температуры в пододежном пространстве противотепловой защиты



Рисунок 3.20 - Фиксация температуры пирометром на наружной оболочке противотепловой защиты



Рисунок 3.21 – Последняя стадия испытаний (тушение пожара)

Масса испытателя в экипировке составила 103,7 кг, а исходные его данные (таблица 3.10) имели следующие величины: частота пульса 116 мин⁻¹, температура воздуха в пододежном пространстве 33 °С. Температура воды на входе в комбинезон водяного охлаждения была равна 24 °С, на выходе - 29 °С.

Таблица 3.10 - Показатели при работе спасателя в противотепловой защите на опытно-экспериментальном полигоне НИИГД «РЕСПИРАТОР» при температуре на ее наружной поверхности равной 180-220 °С.

Время выполнения операций, мин	Вид физической нагрузки	Частота пульса, мин ⁻¹	Температура подкостюмного пространства в шлеме, °С
5	1. Передвижение с пожарным стволом на расстоянии 2м от фронта очага пожара	140	33
8	2. Отдых на позиции	132	33
11	П.1	136	33
14	П.2	132	34
17	П.1	140	35
20	П.2	132	37
23	П.1	148	38

Из приведенных в таблице данных видно, что промежуток времени, за который достигается температура в пододежном пространстве равная 40 °С, составляет около 20 мин.

Таким образом, общее время защитного действия противотепловой защиты, с охлаждением проточной водой, (ПТЗВО) составляет около 90 мин.

Протокол и акт испытаний экспериментального образца противотепловой защиты, с водяным охлаждением проточной водой, (см. ПРИЛОЖЕНИЯ В и Г) соответственно.

Погрешность результатов исследований времени защитного действия ПТЗВО, полученных на основании математической модели теплообменных процессов в системе «окружающая среда – теплозащитный костюм – организм спасателя», с использованием метода конечных элементов, – 79 мин (рисунок 2.14), при сравнении с данными экспериментов, не превышает 11%.

На основании полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований разработано техническое задание на разработку облегченного образца противотепловой защиты пожарных-спасателей с охлаждением проточной водой (см. ПРИЛОЖЕНИЕ Г).

Выводы по главе 3:

1. *Получены* аппроксимирующие зависимости энергозатрат спасателя от: угла наклона и высоты преодолеваемого участка, массы переносимого груза и скорости движения спасателей, а также потребления кислорода из дыхательного аппарата. При этом величина энергозатрат изменяется от 554 до 1172 Вт. Такие энергозатраты относятся к категории «очень тяжелой» физической нагрузки.

2. Результаты исследований энергетических показателей спасателей могут быть использованы при планировании тренировочных маршрутов на учебных полигонах, а также при проведении аварийно-спасательных работ, исследованиях теплообменных процессов в противотепловой защите, с

охлаждением проточной водой, и для определения основной технической характеристики – времени защиты от повышенного температурного воздействия.

3. Проведены исследования по определению времени защитного действия комбинезона с водяным охлаждением в тепловой камере НИИГД «Респиратор» при температурах 37 °С и 40 °С, влажности воздуха 75% и 65%, соответственно, при средней тяжести выполнения работ на ступеньке «степ-текст» и вертикальном эргометре. Установлено, что при температуре воды на входе в КВО 24 °С, с градиентом 5 °С, время защитного действия составляет около 70 мин.

4. Исследованиями теплового состояния спасателя на опытно-экспериментальном полигоне НИИГД «Респиратор», при тушении пожара, установлено, что время достижения температуры пододежного пространства до 40°С, при температуре на наружной теплоотражающей оболочке костюма (180...220) °С, составляет 23 мин. При начальной температуре воды, подаваемой по пожарному рукаву из пожарного автомобиля равной 24 °С и температуре воздуха окружающей среды 35 °С, градиент температуры для охлаждающей воды составил 5 °С.

5. Общее время защитного действия разработанной противотепловой защиты, с охлаждением проточной водой, при указанных исходных данных составляет около 90 мин, при относительной погрешности результатов измерений не превышает 11%.

6. Вес разработанной противотепловой защиты, с охлаждением проточной водой, без средств защиты органов дыхания не превышает 11 кг. При этом общий вес ПТЗВО равен – 23 кг, что на 9 кг меньше массы костюма ПТК-300 для горноспасателей аналогичного назначения с охлаждающими элементами. Время защитного действия предлагаемой защиты при температуре воздуха равной 200 °С больше в 2 раза по сравнению с ПТК-300.

ГЛАВА 4

ПАРАМЕТРЫ ПРОТИВОТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ С ОХЛАЖДЕНИЕМ ПРОТОЧНОЙ ВОДОЙ И ПОВЫШЕНИЕ ТАКТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ МЧС ПРИ РАБОТЕ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

4.1. Общие сведения

Для эффективного использования противотепловой защиты, с охлаждением проточной водой, в реальных условиях возникает необходимость определения основных параметров, которые характеризуют уровень защиты от повышенных тепловых воздействий, а также особенности ее эксплуатации. Получение такой информации позволяет оптимизировать конструкцию ПТЗВО и расширить тактические возможности пожарно-спасательных подразделений МЧС.

Используемые на сегодняшний день средства индивидуальной противотепловой защиты, для проведения особо опасных работ в области повышенных температур, характеризуются высокими эксплуатационными затратами. В связи с этим, в процессе выполнения настоящей диссертационной работы, проведен расчет ожидаемого экономического эффекта от внедрения разработанной противотепловой защиты в 7 – ой пожарно-спасательной части Государственного пожарно-спасательного отряда г. Донецка Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики в 2017 году, который составил около 680 тысяч рублей.

4.2. Конструкционные параметры и эксплуатационные характеристики противотепловой защиты с охлаждением проточной водой

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований обоснованы параметры противотепловой защиты пожарного-спасателя с охлаждением проточной водой из пожарного рукава (ПТЗВО). ПТЗВО предназначена для защиты личного состава пожарно-спасательных подразделений МЧС от повышенных температурных воздействий при тушении крупномасштабных пожаров.

Противотепловая защита представляет собой теплозащитную спецодежду многоразового применения с использованием в качестве хладагента проточной воды, отобранной из пожарного рукава и включает в себя следующие основные составные части (рисунок 4.1): наружную теплоотражающую оболочку (комплект ТК-800); двухслойный комбинезон водяного охлаждения (КВО); устройство отбора воды из рукавной пожарной линии; пробковый кран; соединительный шланг; быстроразъемное соединение; поливинилхлоридные трубки; входной распределительный коллектор; два выводящих коллектора; набор дросселирующих шайб.

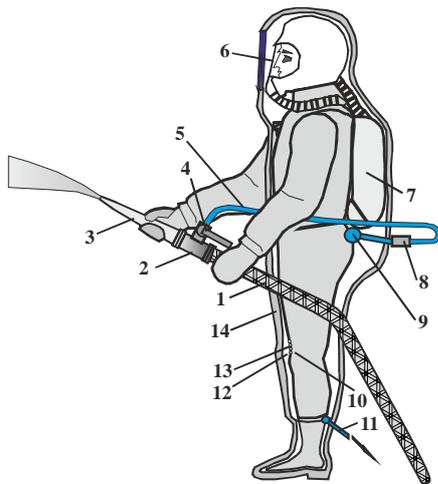


Рисунок 4.1 - Схема подключения противотепловой защиты (ПТЗВО) к пожарному рукаву и ее составные элементы: 1 – пожарный рукав; 2 – устройство для отбора воды; 3 – пожарный ствол; 4 – пробковый кран; 5 – соединительный шланг; 6 – маска респиратора; 7 – респиратор; 8 – быстроразъемное соединение; 9 – входной коллектор; 10 – внутренний слой комбинезона водяного охлаждения (КВО); 11 – выходной коллектор; 12 – поливинилхлоридные трубки; 13 – внешний слой КВО; 14 – наружная теплоотражающая оболочка (комплект ТК-800).

В качестве наружной теплоотражающей оболочки применен ТК-800, массово поставляемый Российской Федерацией в подразделения МЧС ДНР.

Комбинезон водяного охлаждения (КВО) изготовлен из двух слоев трикотажного полотна, между которыми в прошитых пазах расположены трубки из поливинилхлорида (ТУ 64-1-2813-75 марки ПМ-1/42) с внутренним диаметром 3 мм. Концы трубок подсоединяются к коллекторам.



Рисунок 4.2 – Внешний вид наружной противотепловой оболочки

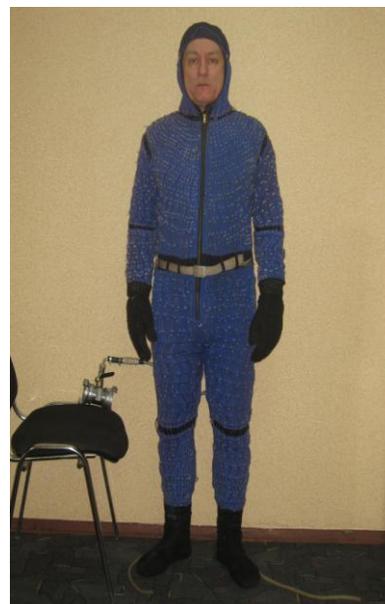


Рисунок 4.3 – Внешний вид внутреннего комбинезона водяного охлаждения и устройство для отбора воды из пожарного рукава

Для распределения воды по различным направлениям вдоль тела спасателя разработан и изготовлен из латуни вводной коллектор. Принципиальная схема подающего воду в КВО вводного коллектора представлена на рисунке 4.4.



Рисунок 4.4 – Принципиальная схема подающего воду в КВО вводного коллектора к элементам противотепловой защиты: 1 – к лицевой части шлема и левой половине туловища; 2 – к затылочной части шлема и левой руке; 3 – к затылочной части шлема и правой руке; 4 – к лицевой части шлема и правой половине туловища; 5 – к передней поверхности правой ноги; 6 – к задней поверхности правой ноги; 7 – к передней поверхности левой ноги; 8 – к задней поверхности левой ноги

КВО плотно облегает тело спасателя и состоит из двух слоев трикотажного полотна «Эластик» (ТУ 62УССР61-79) с огнебиостойкой, пропиткой или его аналога и обеспечивает отвод тепла, выделяемого спасателем и тепла проникающего в пододежное пространство из окружающей среды.

Для вывода нагретой воды из пододежного пространства разработан и изготовлен выводной коллектор, принципиальная схема которого представлена на рисунке 4.5.

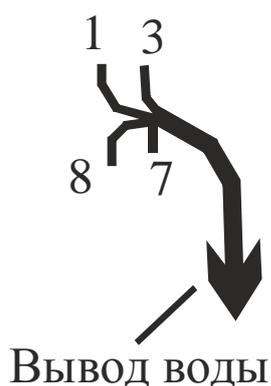


Рисунок 4.5 – Принципиальная схема расположения выводного коллектора с отводами от элементов противотепловой защиты: 1 – от лицевой части шлема и груди; 2 – от затылочной части шлема и левой руки; 7 – от передней поверхности левой ноги; 8 – от задней поверхности левой ноги

В качестве охлаждающей жидкости рекомендуется используется воду с температурой (15...25) °С из пожарного рукава, которая подается на тушение пожара, охлаждение или защиту технологического оборудования.

Движение воды (рисунок 4.6) по охлаждающим трубкам комбинезона осуществляется принудительно за счет давления, создаваемого насосом пожарного автомобиля или давления в противопожарном водопроводе с рабочим давлением (0,4...0,6) МПа. Устройство отбора воды устанавливают между пожарным стволом и рукавом с применением муфтовых гаек. Отбор воды происходит через фильтрующую сетку с ячейкой 0,5x0,5 мм для предотвращения засорения трубок КВО.

Понижения давления воды у пожарного ствола 0,4 МПа (для водяных стволов А и Б) до 0,0275 МПа в устройстве для отбора воды осуществляется дросселирующей шайбой. Зависимость давления воды на входе в ПТЗВО от диаметра дросселирующей шайбы представлена на рисунке 4.7.

Между устройством отбора воды и соединительным шлангом устанавливается пробковый кран типа PN40 DN15, который позволяет регулировать подачу воды после подсоединения комбинезона водяного охлаждения и прерывать ее подачу перед отсоединением КВО.

На соединительном шланге предусмотрено быстроразъемное соединение, которое позволяет оперативно подсоединять и отсоединять противотепловую защиту от рукавной линии.

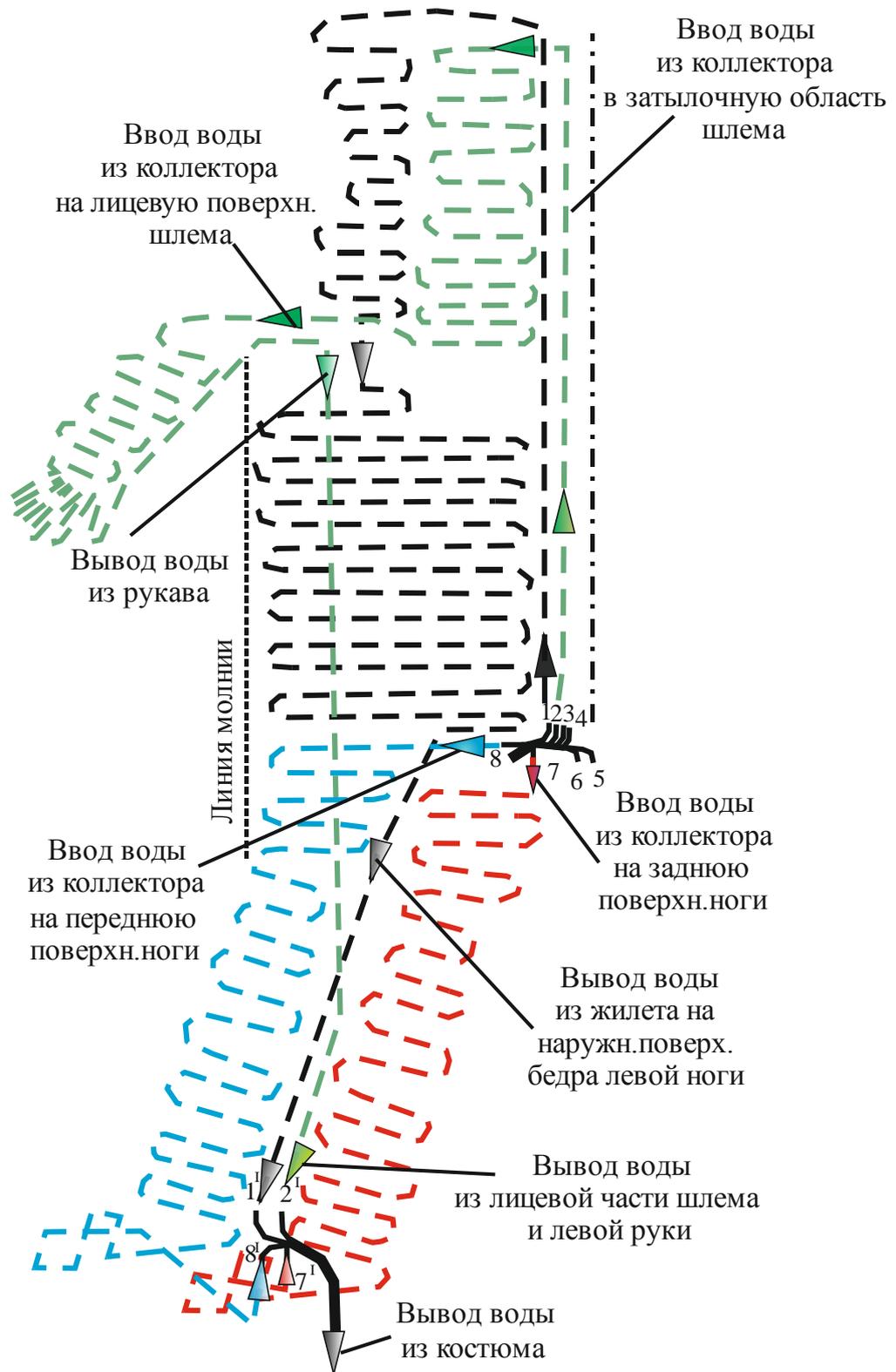


Рисунок 4.6 - Схема распределения водяного потока в комбинезоне с проточным водяным охлаждением

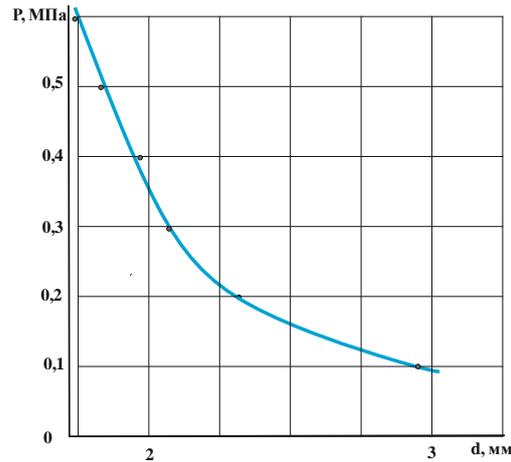


Рисунок 4.7 - Зависимость величины давления P на входе в ПТЗВО от диаметра отверстия дросселирующей шайбы d

КВО изготавливается совместно с капюшоном, двойными вязанными перчатками и носками, в пазах которых проложены трубки. На передней части комбинезона предусмотрен разъем с застежкой-молнией.

В качестве наружной теплоотражающей оболочки целесообразно использовать теплоотражающий костюм ТК-800 (производства РФ), массой 6,5 кг или любой другой костюм с коэффициентом черноты металлизированного наружного слоя, равным 0,2, а также теплозащитного слоя, изготовленного из базальтового волокна [98].

Противотепловая защита, с охлаждением проточной водой, обеспечивает отвод тепла при выполнении работы спасателем средней тяжести (соответствующей энергозатратам около 300 Вт), а также тяжелой или очень тяжелой в течении времени, при котором температура тела не превысит $38\text{ }^{\circ}\text{C}$, ЧСС – 150 мин^{-1} или температура воздуха в пододежном пространстве – около $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Конструкция противотепловой защиты предусматривает возможность ее надевания в течении не более 300 с, и снятия с посторонней помощью одного из коллег, а также, возможность одетому спасателю лечь на

горизонтальную поверхность и подниматься с нее в вертикальное положение без посторонней помощи.

Противотепловую защиту целесообразно изготавливать двух размеров, соответствующих типовой фигуре с ростом (170...176) см и (179...185) см, обхватом груди (96...100) см и (104...108) см, соответственно, в исполнении «У» для категории размещения 5 по ГОСТ 15150-69.

К работе в костюме ПТЗВО допускаются пожарные-спасатели, состояние здоровья которых соответствует требованиям, предъявляемым к лицам, работающим в респираторах изолирующих регенеративных, а также изучившие устройство противотепловой защиты, принцип ее действия и имеющих стаж работы в респираторах не менее 6 месяцев.

Пожарные-спасатели, направляемые для выполнения аварийно-спасательных работ в зоне воздействия высоких температур, должны быть оснащены средствами радиосвязи и индивидуальным сигнализатором температуры, который показывает ее величину в результате воздействия пожара.

ПТЗВО безопасна в обслуживании и эксплуатации. В процессе работы противотепловая защита не ограничивает движений пожарных-спасателей при наклонах и поворотах, не вызывает неприятных ощущений от контакта с телом.

ПТЗВО относится к изделиям, которые обеспечивают повышение безопасности труда пожарных-спасателей.

Техническая характеристика предлагаемой противотепловой защиты, с охлаждением проточной водой, и ее сравнение с костюмом ПТК-300 для горноспасателей аналогичного назначения приведена в таблице 4.1 [99, 100].

Время защитного действия костюма ПТЗВО при одинаковых условиях применения, в два раза больше при одновременном снижении массы в 1.3 раза по сравнению с костюмом ПТК-300 аналогичного назначения с охлаждением водоледяными элементами.

Серийно выпускаемые изделия аналогичного назначения не обнаружены. На полезную модель ПТЗВО получен патент на изобретение [101].

Таблица 4.1 - Сравнительные технические характеристики созданной противотепловой защиты (ПТЗВО) и ПТК-300 аналогичного назначения с водоледяными элементами

Наименование параметра	Значение параметра	
	ПТЗВО	ПТК-300
Время защитного действия костюма при воздействии температуры воздуха окружающей среды °С, средней нагрузке спасателя, мин, не менее		
100		
200	90	45
300	60	30
	40	20
Устойчивость наружной оболочки к воздействию открытого пламени, с, не менее	3	3
Давление воды на входе в комбинезон водяного охлаждения, МПа, не более	0,3	–
Расход воды, л/ мин, не более	4	–
Масса снаряженного костюма (с респиратором, светильником и переговорным устройством), кг, не более	25	32
Средний срок службы, лет, не менее	5	5

4.3. Расширение тактических возможностей пожарно-спасательных подразделений МЧС в условиях повышенных тепловых воздействий

Анализ причин травматизма спасателей показывает, что они распределяются следующим образом [1]: падения с высоты – 38 %; термические поражения (ожоги) – 29 %; отравления продуктами горения –

8 %; травмы вследствие разрушения конструкций – 7 %; взрывы паровоздушных смесей – 5 %; поражение электрическим током – 3 %; другие причины – 10 %.

Значительное количество из этих причин наблюдается при тушении пожаров в резервуарах с горючими жидкостями и в технологических установках. К термическим поражениям и отравлениям продуктами горения, при несвоевременном принятии мер по охлаждению резервуаров и технологических аппаратов, добавляются травмы спасателей вследствие разрушения конструкций, взрыва паровоздушной смеси, падения с высоты.

Существует несколько способов предотвращения травматизма и гибели пожарных-спасателей: изменение тактики тушения пожаров; выбор безопасного расстояния до фронта распространения пламени; выбор более совершенной теплозащитной одежды; применение приборов контроля температуры и теплового потока [102].

Личный состав МЧС, обеспечивающий подачу огнетушащих веществ на охлаждение горящего резервуара и в ходе проведения неотложных аварийно-спасательных работ в его обваловании, должен работать в противотепловых костюмах и быть обеспечен средствами защиты органов дыхания и зрения.

Расход воды на охлаждение горящего резервуара (л/с) определяется по формуле [1]:

$$Q_{\text{охл.}}^{\text{гор.}} = I_{\text{охл.}}^{\text{гор.}} \cdot P_{\text{рез.}}^{\text{гор.}}, \quad (4.1)$$

где: $I_{\text{охл.}}^{\text{гор.}}$ – интенсивность подачи воды на охлаждение горящего резервуара, л/(м·с) (таблица 4.2);

$P_{\text{рез.}}^{\text{гор.}}$ – периметр горящего резервуара, м (таблица 4.3).

Интенсивность подачи воды на охлаждение вертикальных резервуаров принимают согласно табл. 4.2.

Таблица 4.2 - Нормативные интенсивности подачи воды на охлаждение резервуара

Способ орошения	Интенсивности подачи воды на охлаждение, л·с ⁻¹ на метр длины окружности резервуара типа РВС		
	горящего	не горящего соседнего	при пожаре в обваловании
Стволами от передвижной пожарной техники	0,8	<u>0,3</u> 0,4	1,2
Для колец орошения:			
при высоте РВС более 12 м (кроме РВС с плавающей кровлей)	0,75	<u>0,3</u> 0,4	1,1
при высоте РВС 12 м и менее и РВС с плавающей кровлей	0,5	0,2	1,0

Примечание: под чертой – значение с учетом интенсивности на создание водяной завесы для защиты дыхательной арматуры резервуаров.

Для хранения нефти и нефтепродуктов применяются резервуары металлические, железобетонные и из синтетических материалов.

Наиболее распространены в мире – вертикальные стальные резервуары (РВС). В соответствии с требованиями нормативных документов применяются следующие типы стальных резервуаров:

– вертикальные цилиндрические со стационарной конической или сферической крышей, вместимостью до $(2...10) \cdot 10^4$ м³ (при хранении легковоспламеняющихся горючих жидкостей) и до $(5...10) \cdot 10^4$ м³ (при хранении горючих жидкостей);

– вертикальные цилиндрические со стационарной крышей и плавающим понтоном, вместимостью до $(5...10) \cdot 10^4$ м³;

– вертикальные цилиндрические с плавающей крышей, вместимостью до $12 \cdot 10^4$ м³.

Стенки вертикальных стальных резервуаров состоят из металлических листов, как правило, с размерами 1,5×3 или 1,5×6 м. При этом толщина нижнего пояса резервуара колеблется в пределах от 5 мм (РВС-1000) до 25 мм (РВС-120000), в зависимости от вместимости резервуара. Толщина верхнего пояса от 4 до 10 мм. Верхний сварной шов стенок с крышей резервуара выполняется ослабленным с целью предотвращения разрушения резервуара при взрыве в нем паровоздушной смеси.

Геометрические характеристики основных типов стальных вертикальных резервуаров приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3 - Геометрические характеристики резервуаров типа РВС

№ п/п	Тип резервуара	Высота резервуара, м	Диаметр резервуара, м	Площадь зеркала горячего, м ²	Периметр резервуара, м
1	РВС-100	6	4,7	18	15
2	РВС-200	6	6,6	35	21
3	РВС-300	7,5	7,6	45	24
4	РВС-400	7,5	8,5	57	27
5	РВС-700	9	10,4	86	33
6	РВС-1000	9	12	120	39
7	РВС-2000	12	15	181	48
8	РВС-3000	12	19	283	60
9	РВС-5000	12	23	408	72

Количество стволов, необходимых для охлаждения горящего резервуара, определяют по формуле [4.2]

$$N_{\text{гор.}}^{\text{охл.}} = \frac{Q_{\text{охл.}}^{\text{гор.}}}{q_{\text{ств.}}}, \quad (4.2)$$

где: $Q_{\text{охл.}}^{\text{гор.}}$ – расход воды на охлаждение горящего резервуара, л/с;

$q_{\text{ств.}}$ – расход воды через один ствол, л/с.

При этом, количество стволов, определенное расчетом из тактических соображений, для обеспечения надежного охлаждения всего периметра резервуара (с гарантированным перекрытием водяными струями) принимают не менее трех (рисунок 4.8). Не выполнение условий охлаждения горящего и соседних резервуаров приводит к их деформации и разрушению. В результате этих неблагоприятных процессов происходит разлив нефтепродукта с распространением зоны горения в обвалование.

Тушение пожаров в резервуарных парках, с горением в обваловании, значительно усложняет процесс ликвидации горения, так как приходится проводить две пенные атаки одновременно: в резервуаре и в обваловании. При этом прогревание стенок горящего резервуара происходит с двух сторон. Это вызывает необходимость увеличения интенсивности подачи воды для его охлаждения с $0,8$ до $1,2 \text{ л}\cdot\text{с}^{-1}$ (таблица 4.1).

Для регулирования уровня нефтепродукта в горящем резервуаре применяют обвязывающие его трубопроводы с арматурой.

Обеспечив охлаждение горящего резервуара, стволы дополнительно подают для охлаждения соседних резервуаров, находящихся на удалении не более полутора диаметров горящего резервуара.

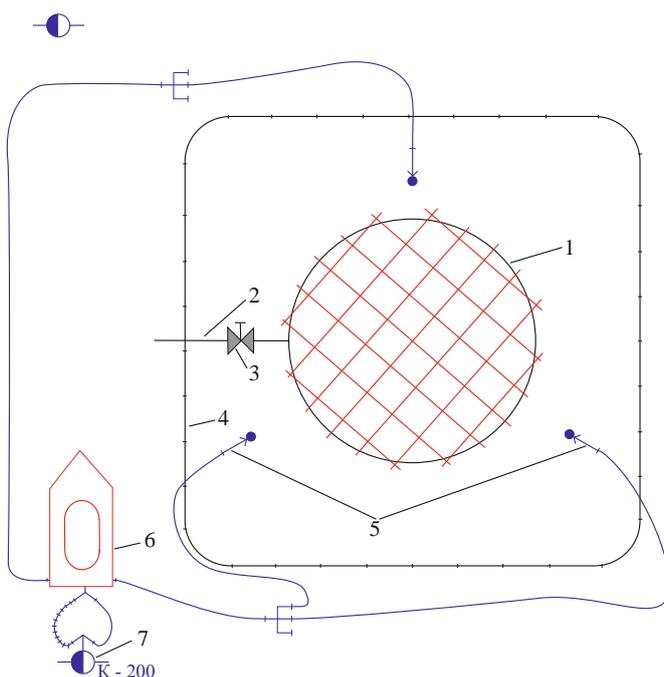


Рисунок 4.8 – Принципиальная схема расстановки сил и средств при охлаждении горящего резервуара: 1 – горящий резервуар; 2 – трубопровод; 3 – запорная арматура; 4 – обвалование; 5 – стволы, подаваемые воду на охлаждение горящего резервуара; 6 – пожарный автомобиль; 7 – пожарный гидрант, установленный на наружном кольцевом 200 мм противопожарном водопроводе

В случае, если необходимо выполнение работ по открытию - закрытию запорной арматуры в обваловании горящего или соседних с ним резервуаров целесообразно применять, созданную противотепловую защиту спасателя с водяным охлаждением, по схеме указанной на рисунке 4.9.

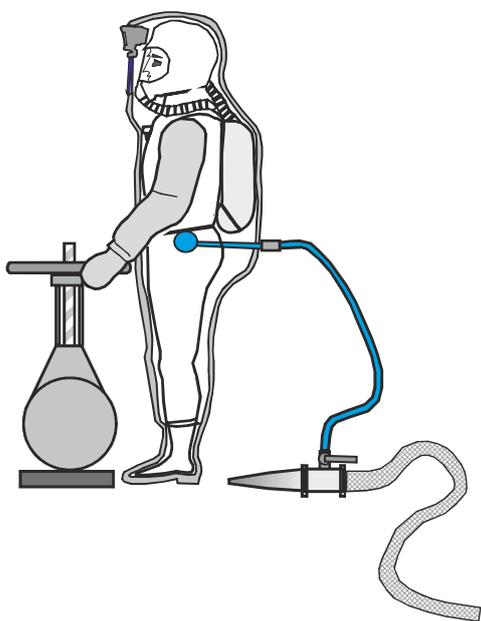


Рисунок 4.9 - Схема работы пожарного с запорной арматурой в противотепловой защите с охлаждением проточной водой

Аналогичным образом аварийно-спасательные подразделения действуют при

ликвидации пожаров в наружных технологических установках.

Акты о внедрении результатов диссертационной работы приведены в ПРИЛОЖЕНИЯХ Д и Е.

4.4. Расчет годового экономического эффекта от внедрения результатов работы

Годовой экономический эффект использования новых средств техники безопасности долгосрочного применения, без учета материальных затрат на лечение, дополнительных выплат денежных пособий в связи с профессиональным заболеванием, при тепловых поражениях пожарных-

спасателей в существующих противотепловых костюмах, определяется по формуле [103, 104]:

$$\Delta = [[(C_1 + E_n K_1) B_2 / B_1 \cdot (P_1 + E_n) / (P_2 + E_n) + (u_1 - u_2) - E_n (K_2^1 - K_1^1)] / (P_2 + E_n) - C_2 + E_n K_2]] A_2, \quad (4.3)$$

где: C_1, C_2 – себестоимость единицы продукции, выпускаемой соответственно по базовому и новому варианту, руб.;

K_1, K_2 – удельные капитальные вложения, необходимые для изготовления единицы выпускаемой продукции, руб.;

E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности, равный 0,15;

B_2 / B_1 – коэффициент учета изменения производительности нового средства техники безопасности по сравнению с базовым;

$(P_1 + E_n) / (P_2 + E_n)$ – коэффициент учета изменения срока службы нового средства защиты по сравнению с базовым;

P_1, P_2 – доля отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление, соответственно, базового и нового варианта средств, рассчитывается как величина, обратная сроку службы средств;

u_1, u_2 – годовые эксплуатационные расходы потребителя при использовании единицы средств в расчете на объем работ, выполненных с помощью нового средства;

K_1^1, K_2^1 – сопутствующие капитальные вложения потребителя, необходимые для обеспечения нормальной работы единицы базового и нового вариантов средств (без стоимости самого средства), в расчете на объем работ, выполненных с помощью единицы нового средства, руб.;

A_2 – годовой объем выпуска в расчетном году новых средств в натуральных единицах.

Максимальная себестоимость единицы продукции, выпускаемой по базовому варианту-костюм ТК-800 составляет 16 тыс. руб., по новому

варианту – ПТЗВО (цена костюма определена на стадии изготовления опытного образца) – 30 тыс. руб.;

коэффициент учета минимальной производительности нового средства по сравнению с максимальной для базового $B_2 / B_1 = 4,0$;

коэффициент учета изменения срока службы $(P_1 + E_n) / (P_2 + E_n) = 1,0$;

удельные капитальные вложения $K_1 = K_2 = 0$;

доля отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление

$$P_1 = P_2 = 0;$$

годовые эксплуатационные расходы потребителя при использовании единицы средств $u_1 = 0, u_2 = 0$, сопровождающих капитальные вложения потребителя $K_1^1 = K_2^1 = 0$;

выпуск нового средства для 20 подразделений МЧС из расчета 10 костюмов в первый расчетный год $A_2 = 20$ единиц.

Подставляя эти данные в формулу (4.3), получим, что годовой экономический эффект от внедрения ПТЗВО составит около:

$$\Xi = 680 \text{ тыс. руб.}$$

Выводы по главе 4:

1. Приведены конструктивные и технологические параметры противотепловой защиты пожарных-спасателей, с охлаждением проточной водой, которая состоит из наружного теплоотражательного слоя и внутреннего комбинезона с водяным охлаждением проточной по поливинилхлоридным трубкам водой.

2. Установлено, что основная техническая характеристика – время защитного действия индивидуальной противотепловой защиты, с охлаждением проточной водой, в процессе использования (при одинаковой температуре воздуха окружающей среды), средней нагрузке на спасателя в два раза больше при снижении массы защиты в 1,3 раза, по сравнению с костюмом ПТК-300 для горноспасателей аналогичного назначения и, как минимум, в четыре раза больше существующего ТК-800 для пожарных МЧС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной диссертации, на основании установленных закономерностей теплообменных процессов в системе «окружающая среда – противотепловой костюм – организм спасателя», *впервые* решена важная научно-техническая задача - обоснование параметров противотепловой защиты спасателей с охлаждением проточной водой. Такая защита обеспечивает повышение безопасности труда спасателя, расширяет тактические возможности пожарно-спасательных подразделений МЧС при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ в условиях повышенных тепловых воздействий.

Основные выводы, научные и практические результаты выполненной работы заключаются в следующем:

1. Обзор научных публикаций по рассматриваемой проблеме показал, что создание безопасных условий труда остается актуальной проблемой и требует своего решения на общегосударственном уровне. При этом, наиболее опасными являются крупномасштабные пожары, которые приводят к значительным материальным убыткам, большому числу потерпевших и гибели людей, в том числе личного состава пожарно-спасательных подразделений МЧС, принимавших участие в их ликвидации и ведении аварийно-спасательных работ.

2. Отсутствие на оснащении аварийно-спасательных подразделений МЧС специальной противотепловой защиты снижает безопасность их труда, приводит к перегреванию организма спасателей, потере ими здоровья, значительным затратам на их лечение и выплаты по профессиональному заболеванию.

3. *Установлены* зависимости тепловых лучистых потоков от очага пожара, воздействующих на спасателя и проникающих через наружную отражающую оболочку противотепловой защиты, от максимальной

температуры горящих материалов, расстояния от спасателя до фронта пожара и площади его горения. Эти зависимости необходимы для проведения исследований теплообменных процессов охлаждения пододежного пространства внутреннего комбинезона проточной водой.

4. *Разработана* расчетная схема противотепловой защиты, отличительной особенностью которой является проточная по поливинилхлоридным трубкам вода из пожарного рукава, с минимально возможным количеством теплозащитных слоев, в том числе воздушным слоем, однорядным расположением трубок. Это позволяет обеспечить простоту конструкторского исполнения и минимальную массу защитного костюма.

5. *Разработана* математическая модель теплообменных процессов в системе «окружающая среда – противотепловой костюм – организм спасателя», учитывающая количество слоев и теплофизические характеристики материалов, расходно-напорную характеристику системы охлаждения, интенсивность теплообмена между водой, теплозащитными слоями и телом спасателя, его энергозатраты при высоких эрготермических нагрузках. По результатам исследований разработана конструкция противотепловой защиты минимальной массы с увеличением времени ее действия не менее, чем в четыре раза по сравнению с теплозащитным комплектом ТК – 800, который используется в настоящее время подразделениями МЧС.

6. *Установлены* аппроксимирующие зависимости физической нагрузки (энергозатрат) спасателей от угла наклона и высоты преодолеваемого участка, массы переносимого ими груза и скорости движения. Показано, что эти энергозатраты относятся к категории «тяжелой» и «очень тяжелой» физической нагрузки. Полученные результаты использованы при исследованиях теплообменных процессов в противотепловой защите спасателя с водяным охлаждением проточной водой и обосновании ее технических параметров.

7. *Обоснованы* параметры противотепловой защиты спасателя, которая состоит из: наружной теплоотражающей оболочки, внутреннего комбинезона с водяным охлаждением, устройства отбора, подачи и регулировки расхода воды из пожарного рукава, которая подается по поливинилхлоридным трубкам с последующим выходом наружу в нижней части костюма. Установлено, что время ее действия, по сравнению с костюмом ПТК-300 для горноспасателей с водоледяными элементами, (при одинаковых эрготермических нагрузках), в два раза выше при одновременном снижении массы в 1,3 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по тушению пожаров в резервуарах и емкостях с нефтью и нефтепродуктами: утв. МЧС ДНР 18.04.2016 № 351. – Донецк: НИИГД «Респиратор», 2016. – 108 с.
2. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация: ССБТ. ГОСТ 12.0.003: 1974. – [Введен 1976 – 01 – 01]. – М.: 1974. – 7 с.
3. Пожарная безопасность. Общие требования: ССБТ. ГОСТ 12.1.004: 1991. – [Введен 1992 – 07 – 01]. – М.: 1991. – 7 с.
4. Звіт Урядової комісії з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, що виникла 8 червня 2015 р. у Київській області, створеної відповідно до розпорядження Кабінету Міністрів України від 9 червня 2015 р. № 583-р про результати ліквідації наслідків надзвичайної ситуації на території нафтобази ТОВ «Побутрембудматеріали».
5. Иванников, В.П. Справочник руководителя тушения пожаров / В.П. Иванников, П.П. Ключ.–М: Стройиздат, 1987.–288с.
6. Терехин, В.В. Справочник руководителя тушения пожаров / В.В. Терехин.– М: Пожкнига, 2004.–248с.
7. Драйздейл, Д. Введение в динамику пожаров / Д. Драйздейл – М.: Стройиздат, 1990. – 424 с.
8. Наставления по применению кислородных изолирующих противогазов (КИПов) в пожарной охране. – М.: МВД СССР, 1964. – 65 с.
9. Инструкция по применению в подразделениях пожарной охраны изолирующих дыхательных аппаратов на сжатом воздухе. М.: ВНИИПО, 1979. – 50 с.
10. Булгаков, Ю.Ф. Индивидуальная противогазотепловая защита: монография / Ю.Ф. Булгаков, С.В. Борщевский, И.Ф. Марийчук и др. – Донецк, 2015. – 385 с.

11. Одежда для защиты от тепла и пламени. Общие требования и эксплуатационные характеристики: ГОСТ ISO 11612-2014.

12. Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний: ГОСТ Р 53264: 2009. – [Введен 2010 – 01 – 01]. – М.: 2009. – 37 с.

13. Одяг пожежника захисний. Загальні технічні вимоги та методи випробувань: ДСТУ 4366:2005 [Чинний від 2005- 01-07]. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 35 с. – (Національний стандарт України).

14. Одяг захисний. Захист від впливу тепла та полум'я. Метод визначення проходження контактного тепла скрізь захисний одяг або його матеріали (EN 702:1994, IDT) : ДСТУ EN 702 – 2005 [Чинний від 2008-01-03]. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 10 с.

15. Стандарт ИСО 2801 –73. Одежда тепло- и огнезащитная. Общие рекомендации для потребителя. – М.; 1975. – 5 с.

16. Стандарт ИСО. Общие рекомендации потребителям теплозащитной одежды. – М., 1978. – 38 с.

17. Логвинов, В.Н. Общие принципы и особенности разработки различных видов специальной защитной одежды пожарных / В.Н. Логвинов // Пожарная безопасность.–2002.–№35.– С.51-57.

18. Нормативы допустимой продолжительности работы пожарных в средствах индивидуальной защиты на пожарах – М. : ВНИИПО, 1985. – 8 с.

19. Макухин, Д.В. и др. Нормирование микроклимата и продолжительности работы при использовании средств индивидуальной защиты. – Гигиена и санитария. 1982, № 12, С. 65-68.

20. Устав ГВГСС по организации и ведению горноспасательных работ ДНАОП 1. 1. 30 – 4. 01 – 97: Утв. 6.06.97. Киев, 1997. – 454 с.

21. Диденко, Н.С. Изолирующий регенеративный респиратор Р-34 / Н.С. Диденко, Э.С. Коган, М.Т. Данилевский, Т.Ю. Кулешова // Горноспасательная техника и противоаварийная защита шахт / ВНИИГД. – Донецк, 1988. – С. 44-47.

22. Диденко, Н.С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ / Н.С. Диденко. – М.: Недра, 1990. – 160 с.

23. Диденко, Н.С. Перспективные направления создания регенеративных респираторов / Н.С. Диденко // Горноспасательное дело: Сб. науч. трудов / НИИГД.– Донецк, 1993. – С. 54-57.

24. Каминский, С.Л. Средства индивидуальной защиты: Справочное издание. / С.Л. Каминский, К.М. Смирнов, В.И. Жуков, Н.А.Краснощеков // – Л.: Химия, 1989. – 400 с.

25. Карпекин, В.В. Разработка и использование газотеплозащитного скафандра на жидком воздухе / В.В. Карпекин. – Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело: реф. сб. – М.: Недра, 1967. – № 6. – С. 54-57.

26. Карпекин, В.В. Разработка и исследование газотеплозащитного костюма «Прометей» / В. В Карпекин, А. П. Рыбалко // Горноспасательное дело: сб. науч. тр./ ВНИИГД. – Донецк, 1974. – С. 22-27.

27. Диденко, Н.С. Полуавтономный газотеплозащитный костюм с кондуктивным охлаждением / Н.С. Диденко, П. П. Загребенко, А. П. Трухан, Ю. В. Соколов, В. В. Карпекин, А. О. Косаковский // Вопросы предупреждения и ликвидации аварий на угольных шахтах / ВНИИГД. – Киев : Техника, 1970. – С. 67-69.

28. Соболев, Г.Г. Горноспасательное дело / Г.Г. Соболев.– М.: Недра, 1979. – 432 с.

29. Землянский, В.И. Противотепловые костюмы ТК-60М и ПТК-80/ В.И. Землянский, И.Я. Землянский, И.И. Волохов// Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД. – Донецк, 1992. – С. 66-71.

30. Землянский, И.Я. Противотепловой костюм КР – 150 / И. Я. Землянский, В. И. Землянский // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД. – Донецк, 2000. – С. 191-197.

31. Землянский, И.Я. Костюмы с криогенной системой охлаждения/ И.Я. Землянский, В.И. Землянский // Горноспасательное дело: сб. науч.тр.–НИИГД.–Донецк, 2000.–С.181-190.

32. Голдынский, Г.Г. Противотепловой костюм для горноспасательных работ / Г.Г. Голдынский, А.П. Рыбалко, И.Я. Землянский, В.А. Петулько // Профилактика и ликвидация аварий на шахтах: сб. науч. тр. / ВНИИГД.–Донецк,1986.–С. 62-68.

33. Алексеев, С.М. Высотные и космические скафандры / С.М.Алексеев, С.П. Уманский.– М.: «Машиностроение», 1973. – 280 с.

34. Карпекин, В.В. Определение параметров водоледяного аккумулятора холода для противотепловой одежды горноспасателей / В.В. Карпекин, И.Ф. Марийчук, Ю.В. Клименко // Науковий вісник НГА України. – Дніпропетровськ, 2002. – № 5. – С. 82-86.

35. Клименко, Ю.В. Средства индивидуальной противогазотепловой защиты для аварийно-спасательных подразделений / Ю.В. Клименко, И.Ф. Марийчук, В.В. Карпекин // Материалы науч.-практ. конф. «Крупные пожары: предупреждение и тушение».–М: ВНИИПО МВД России, 2001.–С.353-355.

36. Клименко Ю.В. Техническая оснащенность оперативных подразделений ГВГСС/ Ю. В. Клименко// Уголь Украины.–1997.– №9.–С.5-6.

37. Клименко, Ю.В. Водоледяная система охлаждения ступней/ Ю. В. Клименко, И.Я. Землянский // Горноспасательное дело: сб. науч. тр./ НИИГД «Респиратор».– Донецк, 2002.– С.119-125.

38. Клименко, Ю.В. Разработка технических средств индивидуальной противотепловой защиты и метода подготовки горноспасателей для работы в экстремальных микроклиматических условиях. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Донецк, 2003. – 189 с.

39. Руководство по ведению горноспасательных работ в зоне с повышенной температурой воздуха/ С.П. Ткачук, Ю.В. Клименко, В.В. Радченко и др.// Устав ГВГСС по организации и ведению горноспасательных работ.– Киев, 1997.–С. 436-446.

40. Воронов, П.С. Обоснование параметров и создание комплекса противотепловой защиты горноспасателей с использованием сжатого воздуха: дис. канд. техн. наук: 05.26.01 «Охрана труда» / МакНИИ.– Макеевка, 2008.– 176 с.

41. Воронов, П.С. Повышение эффективности применения средств противотепловой защиты горноспасателей / П.С. Воронов // Уголь Украины.– 2004.–36.–42-44.

42. Марийчук, И.Ф. Воздушная установка для замораживания охлаждающих элементов к противотепловым средствам ГВГСС / И.Ф. Марийчук, Б.Я. Синельников, Н.Я. Полшков, Н.Т. Булатникова // Горноспасательное дело: сб. науч. трудов / НИИГД. – Донецк, 1993. – С. 44-49.

43. Попов, В.Н. Параметры стационарного контейнера для хранения водоледяных аккумуляторов холода / В.Н. Попов, В.А. Кузин, А.А. Онасенко, П.С.Воронов // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор».– Донецк, 2006.– Вып.43.–С.143-163.

44. Воронов, П.С. Теплообмен в воздушной установке при замораживании охлаждающих элементов для горноспасателей / П.С. Воронов // Уголь Украины.–2003.–№2.–С.30-32.

45. Воронов, П.С. Установка для замораживания охлаждающих элементов к противотепловым средствам горноспасателей / П.С. Воронов, И.Ф. Марийчук // Уголь Украины.–2003.–№11.–С. 12-14.

46. Параметры вихревых труб установки для замораживания охлаждающих элементов / Синельников Б.Я., Вольский В.А., Засевский В.В., Булатникова Н.Т. // Горноспасательное дело; Сб. науч. трудов / НИИГД. – Донецк, 1995. – С.79-84.

47. Self – contained cooling system. Патент США с приоритетом 02.02.66. Бюл.2 (2) т. 834, 10.01.67.
48. Pasternak, A. Neue Wege bei Grubenwehreinsätzen // Dragerheft № 339. – Lubek. – S. 2-6.
49. Plan für das Grubenrettungswesen. Hauptstelle für Grubenrettungswesen // Glückauf Verlag GmbH. – Essen. –1989. – 32 s.
50. Кок, Ф-Й., дипл. инж., Горноспасательная служба и борьба с подземными пожарами в горной промышленности ФРГ // Глюкауф, – Эссен. – 1985. –№ 1. – 13-22 с.
51. Einsatzdauer der Grubenwerk in Grubenbauen mit feuchtwarmen Wettern : Technischer Schlussbericht / Forschungsinstitut der Steinkohlenbergbauvereins. – Essen, 1989. – 80 s.
52. Городинский, С.М. Физиологические критерии оценки теплового состояния человека в условиях нагревающего микроклимата / С.М. Городинский., Е.И. Кузнец, И.И. Малкиман // Медико-технические проблемы индивидуальной защиты человека: сб. науч. тр. Выпуск 10. – М.: Медицина, 1972. – С. 3-9.
53. Физиолого-гигиенические требования к изолирующим средствам индивидуальной защиты: Утв. Минздравом СССР 23.06.80/ М., 1981. – 28 с.
54. Шеррер, Ж. Физиология труда: Перевод с франц. – М.: Медицина, 1973. – 496 с.
55. Метц, Б. Температурные условия окружающей среды// Б. Метц, Ж. Шеррер – Физиология труда (эргономия). Перевод с фр. – М.: Медицина, 1973. – С. 390-436.
56. Norme experimentale X35 – 204. Ambiances chaudes. Determination analytique de la contrainte thermique. – L'Association francaise le normalisation (AFNOR), 1982. – 26 p.
57. ISO 7933. Norme internationale chaudes – Determination analitique et interpretation de la contrainte thermique fondees sur le calcul de la sudation requise. Premiere edition.—1989 – 07 –15. – 19 p.

58. Функемайер, М. Подготовка горноспасательных команд к работе в неблагоприятных климатических условиях// М. Функемайер, Й. Стоклосса // Глюкауф – Эссен, - № 18. – С. 26-34.

59. Plan für das Grubenrettungswesen. Hauptstelle für Grubenrettungswesen// Hauptstelle für das Grubenrettungswesen// Gluckauf Verlag GmbH

60. Bresser G., Funkemejer M. Bestimmung der Einsatzdauer der Grubenwehr// Gluckauf –Forschungshefte. – BRD. – 1990. – N4. –51. – S. 157-163.

61. Einsatzdauer der Grubenbauen mit feuchtwarmen Wettern: Technischer Schlussbericht/ Forschungsinstitut des Steinkohlenbergbauvereins. – Essen, 1989. – 80 S.

62. Plan für das Grubenrettungswesen. Hauptstelle für Grubenrettungswesen. Hauptstelle für das Grubenrettungswesen// Gluckauf Verlag GmbH.- Essen.- 1989. – 32 S.

63. Физиология терморегуляции. – Л.: Наука, 1984. – 470 с.

64. Исследовать и разработать методы оперативного определения допустимого и предельного времени работы горноспасателей в экстремальных микроклиматических условиях: Отчет о НИР/ВНИИ горноспасательного дела. – № ГР 01860072719; Инв. № 02880075445. – Донецк, 1988. – 143 с.

65. Исследовать влияние нагревающего микроклимата шахт на горноспасателей, эффективность тепловой адаптации при стажировке и периодических тренировках в респираторах и разработать рекомендации о профилактике перегреваний: Отчет о НИР/ВНИИ горноспасательного дела. – № ГР 01860072694; –Донецк, 1988. – 123 с.

66. Бартон, А. Человек в условиях холода. / А. Бартон, О. Эдхолм // – М.: Иностранная литература, 1957. – 61с.

67. Клименко, Ю.В. Теоретические основы тепловых расчетов протитепловой одежды для горноспасателей/ Ю. В. Клименко// Науковий вісник НГУ.– Дніпропетровськ, 2001.– № 3.– С. 70-73.

68. Клименко, Ю.В. Математическая модель процесса замораживания охлаждающих элементов для противотепловой одежды горноспасателей / Ю. В. Клименко// Науковий вісник НГУ.– Дніпропетровськ, 2001.– № 6.– С. 71-75.

69. Гаврилко, О.А. Математичне моделювання нестационарного переносу тепла в захисному одязі пожежних і гірничорятувальників з водольодяною системою охолодження / О.А Гаврилко // Пожежна безпека: зб. наук. праць, ЛПБ: УкрНДПБ МНС України. – Львів. 2002. – С. 76-82.

70. Гаврилко, А.А. Моделирование динамики температур в системах местного охлаждения защитной одежды пожарных / А.А. Гаврилко // Пожежна безпека: зб. наук. праць, УкрНДПБ МНС України. – Львів, 2004. - №4.С. 20-25.

71. Гаврилко, А.А. Разработка метода и технических средств обеспечения безопасности пожарных при эрготермических нагрузках / А.А. Гаврилко // дис. канд. техн. наук: спец. 05.26.01 «Охрана труда» / УкрНИИПБ.– Киев.- 2005.– 177 с.

72. Онасенко, А.А. Обоснование параметров средств индивидуальной противогазотепловой защиты горнорабочих / А.А. Онасенко // дис. канд. техн. наук: 05.26.01 «Охрана труда» / МакНИИ.– Макеевка, 2010.– 187 с.

73. Онасенко, А.А. Энергозатраты человека в экстремальных микроклиматических условиях / А.А. Онасенко, В.А Вольский., В.В. Карпекин // Уголь Украины. – 2005. – № 9. – С. 38-39.

74. Карпекин, В.В. Энергозатраты организма членов аварийно-спасательных подразделений при ходьбе с грузом / В.В. Карпекин, А.А. Гаврилко // Уголь Украины. – 2003. – №6. – С. 19-23.

75. Вольский, В.А. Энергетические показатели пожарных при передвижении в аварийной обстановке / В.А Вольский, А.А., Гаврилко, И.Ф.Марийчук //Горноспасательное дело: сб. науч. тр./ НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2003. – С. 51-55.

76. Клименко, Ю.В. Воздействие лучистого потока на человека при тушении подземного пожара / Ю.В. Клименко, И.Ф. Марийчук // Науковий вісник НГА.– Дніпропетровськ, 2002.– № 1.– С. 46-49.

77. Шорин, С.Н. Теплопередача / С.Н. Шорин // – М.: Высшая школа, 1964.– 490 с.

78. Блох, А.Г. Основы теплообмена излучением / А.Г. Блох // – М.– Л.: Госэнергоиздат, 1962.– 331с.

79. Астапенко, В.М. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В.М. Астапенко, Ю.А. Кошмаров // – М.: Стройиздат, 1988.– 448с.

80. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: Справ. в 4;х т. – Т.1. Кн.1. – М.: Наука, 1978. – 496 с.

81. Bolibrukh, B.V. Development and Verifcation of a Mathematical Model Dealing with Termal Protective Garments for Diferent Types of Tests / Bolibrukh B.V., Chmiel M. // Technika i technologia. ВіТР Vol. 38 Issue 2, 2015, pp. 53–61.

82. Mell, W.E. A Heat Transfer Model for Fire Fighter’s Protective Clothing / Mell W.E., Lawson J.R. // Thesis National Institute of Standards and Technology. NISTIR 6299, 1999, p. 27.

83. Тихонов, А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский // – М.: Высшая школа, 1976. – 664 с.

84. Самарский, А.А. Введение в теорию разностных схем / А.А. Самарский // – М.: Наука, 1971. – 554 с.

85. Самарский, А.А. Вычислительная теплопередача / А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич // – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.

86. Власова, Е.А. Приближенные методы математической физики : [учебн. для вузов / под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко] / Е.А. Власова, В.С. Зарубин, Г.Н. Кувыркин // – М.: МГТУ им. Баумана, 2001. – 700 с.

87. Сахаров, А.С. Метод конечных элементов в механике твердых тел / [А.С.Сахаров, В.М. Кислокий, В.В. Киричевский и др.]; под ред. А.С. Сахарова, И.А. Альтенбаха // – К.: Вища школа, 1982. – 480 с.

88. ANSYS, ANSYS 9.0 Manual Set, ANSYS Inc., Southpoint, 275 Technology Drive, Canonsburg, PA 15317, USA.

89. ТУ 64-13891-85. Весы медицинские РН 12Ц13.

90. Большая медицинская энциклопедия. Т.2.–М: Медгиз, 1957.– С. 670-677.

91. Витрук, С.К. Пособие по функциональным методам исследования сердечно-сосудистой системы / С.К. Витрук// – Киев: Здоровье, 1990.–224 с.

92. ГОСТ 6651-94 Термопреобразователи сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний.

93. ГОСТ 8.157-75 ГСИ. Шкалы температурные практические.

94. Макарецв, В.И. Определение работоспособности горноспасателей/ В.И. Макарецв, М.М. Величко, Ю.В. Клименко// Горноспасательное дело: сб. науч. тр./ НИИГД «Респиратор».– Донецк, 2001.– С.62-69.

95. КД 12.08.09.001 – 2000. Определение работоспособности горноспасателей. Руководство. Утв. 18.12.2000 ЦШГВГСС / Донецк, 2000. – 41 с.

96. Бурлачук, Л.Ф. словарь-справочник по психологической диагностике / Л.Ф. Бурлачук, С.М. Морозов// – Киев: Наукова думка, 1989.– С.61-62.

97. ГОСТ 8.207-76 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.

98. Завьялов, Г.В. Выбор материалов для специальной теплозащитной одежды / Г.В. Завьялов // Научный вестник НИИГД «Респиратор», № 1(53). – Донецк, 2016. – С. 109-119.

99. Завьялов, Г.В. Параметры водяного охлаждения противотеплового костюма спасателя / Г.В. Завьялов // Научный вестник НИИГД «Респиратор», № 4(53). – Донецк, 2016. – С. 93-101.

100. Мамаев, В.В. Средства комплексной противотепловой защиты спасателей при работе в условиях высоких температур : матеріали науково-практичної конференції з міжнародною участю. / В.В. Мамаев, Г.В. Завьялов //Надзвичайні ситуації: безпека та захист / Черкаський Інституту пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля, 2015. – С. 280-283.

101. Пат. на корисну модель 109668 Україна, МПК А 62 В 17/00, А 41 D 13/00. Теплозахисний костюм / В.К. Костенко, О.Л. Зав'ялова, Г.В. Зав'ялов, В.М. Покалюк; заявник і власник В.К. Костенко, О.Л. Зав'ялова. – № u2016 03119; заявл. 25.03.2016; опубл. 25.08.2016, Бюл. №16.

102. Ковалишин, В.В. Определение коэффициента безопасности работы для различного типа защитной одежды пожарного / В. В. Ковалишин, А. Д. Кузик, В. В. Ковалишин // Вестник ЛГУ БЖД. – 2014. – №9. – С. 143-149.

103. Методика определения экономической эффективности в угольной промышленности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений.– М. ЦНИИЭИуголь, 1979. – 120 с.

104. Методические указания по определению экономической эффективности использования в угольной промышленности новой техники, связанной с предупреждением и тушением подземных пожаров: утв. Минэнергопромом СССР от 28.11.1980.– М., 1981.– 114 с.

Приложение А



МЧС ДНР

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОГО ДЕЛА, ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
И ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ «РЕСПИРАТОР»
МИНИСТЕРСТВА ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ
СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
(НИИГД «РЕСПИРАТОР»)

П Р И К А З

25.04.2016

г. Донецк

№ 100

О создании комиссии для проведения испытаний экспериментального образца теплозащитного костюма

Для проведения испытаний экспериментального образца облегченного теплозащитного костюма для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла (ПТК КВО), разработанного и изготовленного НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР согласно тематическому плану НИР № 11616013 «Разработать облегченный теплозащитный костюм для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла»

ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Создать комиссию в следующем составе:

Председатель комиссии:

Мельник В.В. – заместитель директора по научной работе

Заместитель председателя:

Медгаус В.М. – начальник научно-исследовательского отдела дыхательной, медицинской, конструкторской аппаратуры и средств противотепловой защиты спасателей (ОДМКА и СПЗС)

Члены комиссии:

Потапенко И.А. – начальник научно-технического отдела испытаний, стандартизации и метрологии (НТОИСМ), (Главный метролог);

Вольнец В.В. – главный инженер;

Олейников С.В. – начальник опытно-экспериментального производства отдела пожарной безопасности (ОЭП ОПБ);

Акименко О.В. – техник I категории научно-исследовательского отдела средств защиты органов дыхания (ОСЗД);

Нагорный А.А. – начальник опытно-экспериментального полигона (ОЭП);

- Евстигнеева В.И. – техник I категории научно-исследовательского отдела дыхательной, медицинской, контрольной аппаратуры и средств противотепловой защиты спасателей (ОДМКА и СПЗС);
- Зявьялов Г.В. – научный сотрудник научно-исследовательского отдела гражданской защиты (ОГЗ);
- Федоринова С.А. – инженер 2 категории научно-исследовательского отдела гражданской защиты (ОГЗ).

2. Начальнику научно-исследовательского отдела дыхательной, медицинской, контрольной аппаратуры и средств противотепловой защиты спасателей Медгаусу В.М., начальнику опытно-экспериментального полигона Нагорному А.А. до 5 августа 2016 года подготовить и доложить о готовности экспериментальную базу.

3. Испытания провести в августе 2016 года на территории НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР по «Программе и методике предварительных испытаний ПТК КВО.00.000 ПМ1».

4. Предоставить мне на утверждение Акт предварительных испытаний экспериментального образца облегченного теплозащитного костюма для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла ПТК КВО до 31 августа 2016 года.

5. С приказом ознакомить всех членов комиссии.

6. Контроль исполнения настоящего приказа возложить на заместителя директора по научной работе Мамаева В.В.

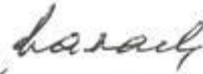
Директор



В.Г. Агеев

Ознакомлены:

Заместитель директора по научной



В.В. Мамаев

Начальник ОДМКА и СПЗС



В.М. Медгаус

Начальник НТОИСМ



И.А. Потапенко

Главный инженер



В.В. Волынец

Начальник ОЭП ОПБ



С.В. Олейников

Техник I кат. ОСЗД



О.В. Акименко

Техник I кат. ОДМКА и СПЗС



В.И. Евстигнеева

Начальник ОЭП

уведомлен по телефону

А.А. Нагорный

Научный сотрудник ОГЗ



Г.В. Завьялов

Инженер



С.А. Федоринова

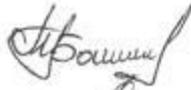
СОГЛАСОВАНО

Первый заместитель директора
по научной работе



П.С. Пашковский

Юрисконсульт I категории



Т.Р. Терехова

Начальник ОГЗ



А.Н. Слабченко

Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики (МЧС ДНР)

Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» (НИИГД «Респиратор»)

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель
НИИГД «Респиратор» М.П.Р.
по научной работе

Ваня
«03» августа 2016 г.



ОБЛЕГЧЕННЫЙ ТЕПЛОЗАЩИТНЫЙ КОСТЮМ ДЛЯ СПАСАТЕЛЯ
С ВОДЯНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ОТКРЫТОГО ЦИКЛА
ПТК КВО

Программа и методика испытаний экспериментального образца
ПТК КВО.00.000 ПМ1

СОГЛАСОВАНО

Начальник научно-технического
отдела испытаний стандартизации
и метрологии

И.А. Потапенко
И.А. Потапенко
«03» августа 2016 г.

РАЗРАБОТЧИКИ

Научный сотрудник отдела
гражданской защиты

Г.В. Завьялов
Г.В. Завьялов
«03» августа 2016 г.

Ответственный исполнитель
Инженер 2 категории отдела
гражданской защиты

С.А. Федоринова
С.А. Федоринова
«03» августа 2016 г.

Год, и дата
Имя и Фамилия
Ваша должность
Год, и дата
Имя и Фамилия

Донецк 2016

1 Объект испытаний

1.1 Экспериментальный теплозащитный костюм для спасателя с водяным охлаждением открытого типа ПТК КВО (далее по тексту – противотепловой костюм), предназначен для защиты спасателей при тушении пожаров и выполнения аварийно-спасательных работ в ходе ликвидации чрезвычайных ситуаций.

1.2 Противотепловой костюм состоит из: материала верха (Индекс-1200), теплоизоляционный костюм (ПТК-60) и контур водяного охлаждения.

1.3 Хладоносителем в ПТК КВО является вода, подаваемая на тушение пожара из наружной водопроводной сети. Для ее отбора в рукавную линию между пожарным рукавом и стволом устанавливается вставка с дросселирующей шайбой. После прохождения по трубкам контура водяного охлаждения нагретая вода выбрасывается из подкостюмного пространства в окружающую среду.

Перечень документов, на которые имеются ссылки в программе и методике испытаний экспериментального образца противотеплового костюма, приведен в приложении А.

2 Цели и задачи испытаний экспериментального образца противотеплового костюма

2.1 Испытания проводятся с целью:

- определения времени защитного действия экспериментального образца противотеплового костюма;
- проверки соответствия времени защитного действия противотеплового костюма требованиям, предъявляемым к костюмам аналогичного типа.

2.2 Задачи:

- проверка стабильности работы системы водяного охлаждения экспериментального образца противотеплового костюма;
- проверка соответствия противотеплового костюма требованиям безопасности и промсанитарии;
- проверка удобства работы в ПТК КВО;
- выявление эксплуатационных и конструктивных недостатков.

3 Техническая характеристика противотеплового костюма

3.1 Время защитного действия при воздействии температуры окружающей среды до 200 °С, для противотеплового костюма должна составлять не менее 1200 с.

Подп. и дата										
Изм. № докум.										
Взам. тем. №										
Подп. и дата										
Изм. № подл.										
						ПТК КВО.00.000 ПМ1				
	Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата					
	Разраб.		Федоринова			Облегченный теплозащитный костюм для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла Программа и методика испытаний экспериментального образца	Лит.	Лист	Листов	
	Провер.		Завьялов					2	16	
	Рук. темы		Завьялов				НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР			
	Н. контр.									
	Утв.									

3.2 Костюм должен позволять выполнять работы в любом пространственном положении.

3.3 В конструкция костюма предусмотрен отсек для размещения аппарата защиты органов дыхания типа респиратора Р-30 ТУ 12.43.73-81 и всеми другими респираторами, соответствующими требованиям ОСТ 12.43.247-83 со сроком защитного действия не менее 2 час. и массой не превышающей 12 кг.

4 Организация испытаний

4.1 Проведение испытаний экспериментального образца противотеплового костюма ПТК КВО организует отдел гражданской защиты (далее ОГЗ) – разработчик, совместно с отделом дыхательной, медицинской, контрольной аппаратуры и средств противотепловой защиты спасателей (далее ОДМК и СПЗС).

4.2 Испытания проводят по программе и методике ПТК КВО.00.000 ПМ1.

4.3 Испытания проводит комиссия, назначенная приказом директора института № 106 от 25.07.2016г.

4.4 На испытания представляется один экспериментальный образец противотеплового костюма.

4.5 Председатель комиссии уведомляет всех членов комиссии о начале испытаний не позднее, чем за 10 дней.

4.6 Место проведения испытаний экспериментального образца противотеплового костюма – тепловая камера и опытно-экспериментальный полигон НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

ПТК КВО.00.000 ПМ1

Лист.

3

4.8 На испытания представляются следующие документы:

- акт об окончании работ по изготовлению и наладке экспериментального образца противотеплового костюма;
- приказ о назначении комиссии по проведению испытаний;
- программа и методика испытаний экспериментального образца противотеплового костюма ПТК КВО.00.000 ПМ1.

5 Программа испытаний

Испытания выполняются в соответствии с п.п. 6.1-6.3. Параметры ПТК КВО и испытателя приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры ПТК КВО, испытателя в процессе проведения испытаний

Контролируемый параметр	Номер пункта	
	Норма	Метод испытаний
		ПМ1
1	2	3
1 Время защитного действия при воздействии температуры, не менее, с, при температуре окружающей среды °С: 100 150 200	3600 2400 1200	6.2
2 Работа в любом пространственном положении	возможна	6.1
3 Температура тела, °С, не более, при температуре в подкостюмном пространстве до 40 °С	38,6	6.1.10
4 Теплоощущение, баллы, не более	7	6.1.10
5 Частота сердечных сокращений, мин ⁻¹ , не более, для степени тяжести выполняемых работ: - легкая - средней тяжести - тяжелая - очень тяжелая	110 120 150 170	6.1.10

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
------	------	-------------	---------	------

ПТК КВО.00.000 ПМ1

Лист.

4

6 Методы испытаний

6.1 Испытания ПТК КВО в тепловой камере (рис.6.1) на испытателе проводятся с целью определения показателей назначения противотеплового костюма.

6.1.1 Тепловая камера должна обеспечивать следующие параметры окружающей среды:

пределы точности регулирования температуры до $50 (\pm 3) ^\circ\text{C}$;

влажность, соответствующая температуре "точки росы" при температуре $60 ^\circ\text{C}$ (пределы точности регулирования влажности $(\pm 5 \%)$);

разность температуры в различных точках камеры - не более $5 ^\circ\text{C}$.

6.1.2 Испытания ПТК КВО в тепловой камере проводятся без материала верха и теплоизоляционного костюма при трех уровнях температуры, при температурах 35, 40 и $45 ^\circ\text{C}$.

6.1.3 К испытаниям допускаются испытатели со стажем работы в защитных дыхательных аппаратах не менее 6 месяцев, хорошо физически развитые (рост 1,7-1,8 м, вес 70-80 кг) и практически здоровые. Испытатели не должны в течение суток перед испытаниями выполнять тяжелую физическую работу, принимать алкоголь.

6.1.4 За сутки до испытаний проверяют состояние здоровья и общее самочувствие испытателя, измеряют физиологические показатели, которые не должны превышать следующих величин: температура тела $36,8 ^\circ\text{C}$, частота пульса 80 1/мин, артериальное давление в пределах (120...130) мм рт.ст. (систолическое) и (60...80) мм рт.ст. (диастолическое). Определяют рост, массу тела и жизненную емкость легких. Результаты испытаний вносятся в формуляр испытаний, приведенный в приложении Б.

6.1.5 Испытания ПТК КВО проводятся в присутствии медицинского работника, инженера, ответственного за их проведение и безопасность, членов комиссии.

6.1.6 До начала испытаний испытателя ознакомливают с программой, порядком проведения испытаний, их спецификой, инструктируют об его действиях при работе в тепловой камере, уделяя особое внимание безопасности. Он изучает устройство ПТК КВО, правила эксплуатации и приемы работы в ПТК КВО.

6.1.7 Подготовку ПТК КВО к испытаниям, проверку Р-30 испытатель осуществляет под контролем технического персонала.

6.1.8 В ходе испытаний испытатель в течение 10 мин выполняет упражнения на скамейке «степ-тест» (подъеме на помост высотой 20 см в ритме 20 подъемов - опусков в мин), переноску и укладку кирпичей на площадке для их переноса (70 шт. в одном и обратном направлении), перемещение груза на вертикальном эргометре (14...16 подъемов - опусков в мин) с 5 мин перерывом на отдых между упражнениями. После каждого упражнения и после отдыха в формуляр испытаний заносятся объективные и субъективные показания состояния испытателя.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ПТК КВО.00.000 ПМ1					Лист.				
										5				
										Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

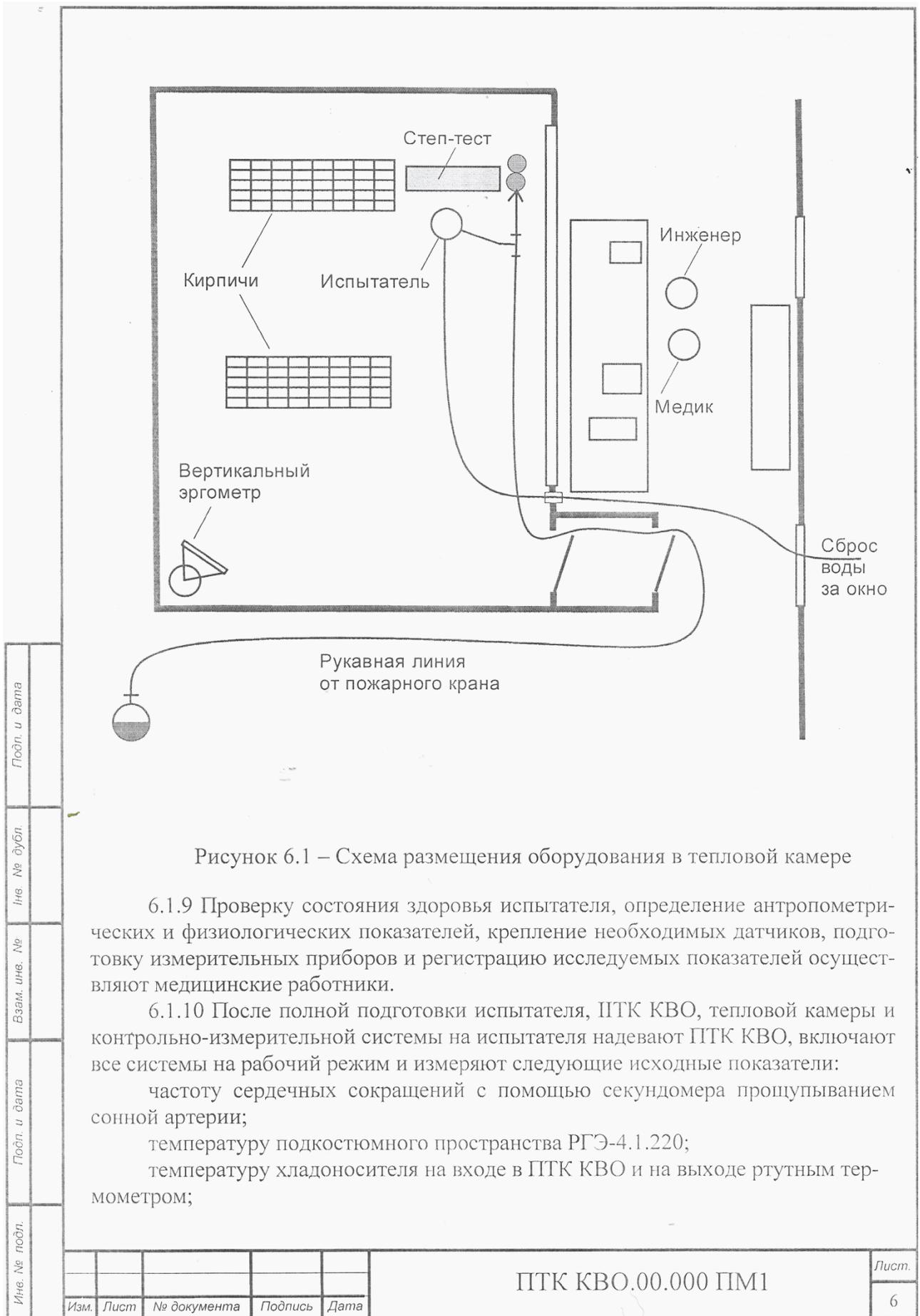


Рисунок 6.1 – Схема размещения оборудования в тепловой камере

6.1.9 Проверку состояния здоровья испытуемого, определение антропометрических и физиологических показателей, крепление необходимых датчиков, подготовку измерительных приборов и регистрацию исследуемых показателей осуществляют медицинские работники.

6.1.10 После полной подготовки испытуемого, ПТК КВО, тепловой камеры и контрольно-измерительной системы на испытуемого надевают ПТК КВО, включают все системы на рабочий режим и измеряют следующие исходные показатели:

- частоту сердечных сокращений с помощью секундомера прощупыванием сонной артерии;
- температуру подкостюмного пространства РГЭ-4.1.220;
- температуру хладонителя на входе в ПТК КВО и на выходе ртутным термометром;

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	ПТК КВО.00.000 ПМ1	Лист.
						6

Подп. и дата
Име. № дубл.
Взам. име. №
Подп. и дата
Име. № подл.

давление кислорода манометром респиратора Р-30;
температуру и влажность воздуха в тепловой камере ртутным термометром и психрометром.

Эти показатели фиксируются в формуляре испытаний после выполнения каждого вида работы и отдыха после них.

6.2 Испытания на опытно-экспериментальном полигоне

6.2.1 Испытания проводят с целью определения показателей назначения ПТК КВО при использовании его в условиях, приближенных к реальным – эксплуатационным.

6.2.2 Испытания экспериментального образца ПТК КВО проводят по программе, изложенной в данном разделе.

6.2.3 Испытания проводят при воздействии на ПТК КВО теплового лучистого потока от очага пожара эквивалентного температуре воздуха 100, 150 и 200 °С, которая достигается изменением расстояния до очага пожара (рис.6.2) и определяется пирометром.

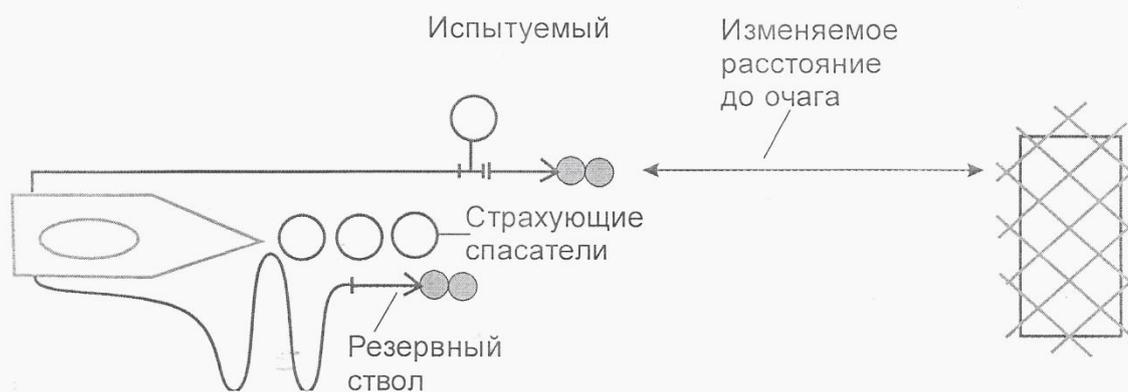


Рисунок 6.2 – Схема расположения испытуемого на полигоне относительно очага пожара

6.2.5 Испытания проводятся в присутствии инженера (разработчик ПТК КВО) и медицинского работника, ответственных за испытания, а также страховых спасателей с резервным стволом. На испытаниях присутствуют члены комиссии.

6.2.6 В качестве очага пожара используется штабель из бревен 2х2 м и высотой 2м, уложенный с зазорами между бревнами равными диаметру бревна.

Посл. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Посл. и дата

Инв. № посл.

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

ПТК КВО.00.000 ПМ1

Лист.

7

6.2.7 За сутки до испытаний и перед началом испытаний проверяют состояние здоровья и общее самочувствие испытателя по параметрам изложенным в п. 6.1.4.

6.2.8 До начала испытаний испытателя знакомят с программой и спецификой испытаний, инструктируют об их действиях при работе в ПТК КВО, уделяя особое внимание правилам безопасности, и проводят рекогносцировку на полигоне, знакомя с маршрутом движения и с местом работы.

6.2.9 Последовательность испытаний:

- подготовка ПТК КВО, проверка Р-30;
- транспортировка ПТК КВО на полигон;
- подготовка испытателя - проверка состояния здоровья, измерение физиологических показателей;
- надевание ПТК КВО, включение системы водяного охлаждения;
- работа со стволом на огневом рубеже с фронтальным перемещением относительно очага пожара;
- снятие ПТК КВО, измерение физиологических показателей, опрос испытателя;
- осмотр, проверка и техническое обслуживание ПТК КВО;
- занесение данных в формуляр испытаний.

6.2.10 Перед началом испытаний и после их окончания у испытателя измеряют температуру тела, частоту сердечных сокращений и артериальное давление. Результаты заносятся в формуляр испытаний.

В процессе выполнения упражнения физиологические показатели не измеряют.

6.2.11 Надевание ПТК КВО на испытателя производят на полигоне на условном исходном рубеже. Там же производится включение в Р-30.

6.2.12 Длительность каждого пребывания в зоне повышенных температурных воздействий должна соответствовать максимальному допустимому времени непрерывного пользования ПТК КВО и оцениваться по самочувствию испытателя.

6.2.13 Во время работы в ПТК КВО испытатель должны поддерживать разговорную связь (проводную или беспроводную) с руководителем испытаний.

6.3 Меры безопасности

6.3.1 При проведении испытаний необходимо соблюдать правила техники безопасности спасателей МЧС.

6.3.2 При испытаниях ПТК КВО в тепловой камере должна поддерживаться постоянная двусторонняя разговорная связь с испытателем.

6.3.3 Запоры двери, ведущей в тепловой камеру, должны позволять быстрое открытие ее изнутри и снаружи.

6.3.4 На период проведения испытаний должен быть выделен и проинструктирован страхующий испытателя человек, который при необходимости должен срочно вывести его из камеры. Страхующий должен быть одет в легкий противотепловой костюм без системы охлаждения с перчатками и сапогами.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. име. №	Име. № дубл.	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	ПТК КВО.00.000 ПМ1		Лист.
												8

6.3.5 Испытатель, принимающий участие в испытаниях, должен быть опрошен об его самочувствии и осмотрен медицинским работником. Должны быть зафиксированы температура, кровяное давление и пульс до начала упражнений и после их окончания. Пульс должен измеряться в периоды отдыха между работами, но не реже, чем один раз в 10 мин.

6.3.6 Все лица, участвующие в испытаниях, должны быть проинструктированы о порядке ведения работ в зоне повышенных температурных воздействий и о поведении в случае перегрева.

6.3.7 Испытания должны проводиться в присутствии медицинского работника.

6.3.8 При нарастании частоты пульса до 170 1/мин, если он не снижается во время трехминутного отдыха, или повышения температуры тела до 38,6 °С, а также при ухудшении самочувствия испытателя, испытания должны быть прекращены и испытатель выведен из тепловой камеры.

6.3.9 При тепловых поражениях испытателя оказание медицинской помощи должно проводиться в соответствии с рекомендациями о первой медицинской помощи.

6.3.10 В местах проведения испытаний, должны находиться аптечка и средства для оказания первой помощи, применяемые при тепловых поражениях.

6.3.11 При работе на полигоне прокладывается резервная линия от пожарного автомобиля со стволом для страховки испытателя и тушения очага по завершению испытаний.

7 Средства измерений и испытательное оборудование

7.1 Оборудование, применяемое при проведении испытаний, должно быть аттестовано и обеспечивать режимы испытаний, установленные в настоящей программе и методике испытаний.

7.2 Средства измерений и испытательное оборудование, необходимые для проведения испытаний, приведены в приложении Б.

8 Оценка и оформление результатов испытаний

Результаты испытаний экспериментального образца облегченного теплозащитного костюма для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла ПТК КВО оформляются формуляром и протоколом, приведенными в приложении Г.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	ПТК КВО.00.000 ПМ1	Лист.
											9

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)
Перечень документов, на которые имеются ссылки

Обозначение НД	Наименование	Номер пункта, в котором есть ссылки на НД
1	2	3
ГОСТ 27752-88	Часы электронно-механические кварцевые настольные, настенные и часы-будильники. Общие технические условия	Прилож. В
ГОСТ 29329-92	Весы для статического взвешивания. Общие технические требования	Прилож. В, 6.1.3
ГОСТ 427-75	Линейки измерительные металлические. Технические условия	Прилож. В, 6.1.8
ГОСТ Р 53264-2009	Пожарная техника. Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний	1.2, 3.3, 6.1.10, 6.2.10, прилож. Б
ГОСТ 7502-98	Рулетки измерительные металлические. Технические условия	Прилож. В, 6.2.3
ТУ 25-11.1513-79	Барометр-анероид метеорологический БАММ-1	Прилож. В,
ТУ 25-1819.0021-90	Секундомеры механические	Прилож. В, 6.1.10
ТУ 25-2021.003-88	Термометры ртутные стеклянные лабораторные	Прилож. В, 6.1.2
ТУ 25-7310.040-88	Манометры и мановакуумметры показывающие М, МВ	Прилож. В, 6.1.7
ТУ 64-1.3878-85	Измеритель артериального давления мембранный ИАДМ-ОП	Прилож. В, 6.2.10
ТУ 12.43.73-81	Респиратор изолирующий регенеративный Р-30	3.3
ОСТ 12.43.247-83	Респираторы изолирующие регенеративные для горноспасательных работ. Общие технические требования. Методы испытаний	3.3

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

ПТК КВО.00.000 ПМ1

Лист.

10

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)

Формуляр испытаний № _____

« ____ » _____ 20 ____ г. Время суток ____ ч ____ мин.

Цель испытания _____

Место проведения испытания _____

Температура в тепловой камере T_a , °C _____ Влажность, % _____

Температура в предкамере T_a , °C _____ Влажность, % _____

Температура в кабинете обследования T_a , °C _____ Влажность, % _____

Атмосферное давление P , мм рт.ст. _____

СНАРЯЖЕНИЕ ИСПЫТАТЕЛЯ

Перечень экипировки _____

Тип охлаждения _____

Температура хладагента до температурного воздействия _____

После воздействия _____ Расход хладагента _____

Время пребывания в СИЗ до захода в тепловую камеру _____

Давление O_2 в баллоне _____

ДАННЫЕ ОБ ИСПЫТАТЕЛЕ

Фамилия, и., о. _____ Возраст, лет ____ Рост, см ____

Респираторный стаж, лет ____ Тепловая устойчивость _____

Параметры	Перед опытом	Перед заходом в ЗПТВ	После выхода из ЗПТВ
Температура тела, T_R , °C			
Температура тела, T_{ax} , °C			
Частота сердечных сокращений / мин			
Артериальное давление, мм рт.ст.			
Влагопотери, кг			
Время пребывания в ЗПТВ			

Подп. и дата

Име. № дубл.

Взам. име. №

Подп. и дата

Име. № посл.

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
------	------	-------------	---------	------

ПТК КВО.00.000 ПМ1

Лист.

11

Время, мин	T _a в тепловой камере, °С	Вид и режим физической нагрузки, мин	Физиологическое состояние испытателя														
			ЧСС уд/мин	T _{ре} , °С	Температура кожи, °С						T _{IR}	T _B	Q _B , кДж	Давление в баллоне			
					Лоб	Предплечья	Грудь	Поясница	Бедро	Голень					Стопа		

Температура подкостюмного пространства в области, °С						Температура хладагента на входе	Температура хладагента на выходе	Расход теплоносителя
Головы	Груды	Спины	Предплечья	Бедр				

Дополнительные данные _____

Замечания испытателя _____

СУБЪЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ИСПЫТАТЕЛЯ

Виды работ	Время	Тяжесть работы	усталость		теплоощущения														
			A	B	голова	лицо	грудь	спина	плечи	предплечье	кисти	живот	поясница	бедр	голень	стопы	вдыхаемый воздух		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			

Теплоощущения, баллы	Примерная характеристика теплового состояния
1 – 2	Тепловых воздействий не ощущается, состояние комфортное
3 – 4	Незначительные локальные тепловые воздействия
5 – 6	Умеренный прогрев всего подкостюмного пространства
7 – 8	Интенсивный прогрев всего подкостюмного пространства при отсутствии болевых ощущений
Более 8	Появление болевых ощущений, резкое снижение работоспособности, состояние дискомфорта

Име. № подл.	Подл. и дата
Взам. инв. №	
Име. № дубл.	
Подл. и дата	

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
------	------	-------------	---------	------

ПТК КВО.00.000 ПМ1

Лист.

12

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(обязательное)

Средства измерений и испытательное оборудование, необходимые для проведения испытаний

Наименование физической величины	Требуемый предел (диапазон измерений)	Требуемая точность (класс, погрешность)	Наименование и тип прибора, оборудования	Обозначение НД	Кол-во, шт.
1	2	3	4	5	6
Масса	(30-150)кг	±0,1 %	Весы медицинские РП-150МГ	ТУ 25.06.1307-75	1
Линейные размеры	(0-10) м	± 1 мм	Рулетка измерительная металлическая Р10Н2К	ГОСТ 7502-98	1
Время	(0-240) ч	± 1 мин	Часы настенные	ГОСТ 27752-88	1
	(0-600) с	Кл. 3	Секундомер механический СДСпр-1	ТУ 25-1819.0021-90	1
Температура	(263-473) К [(-10...200) °С]	Кл. 5	Прибор измерительный с преобразователем термоэлектрическим РГЭ-4.1-12-220	ДСТУ 2857-94	1
	(323-1173) К [(50...800) °С]	± 0,5 °С	Пирометр НИМБУС	31557302.001.000.000 РЭ	1
	(289-315) К [(16...42) °С]	± 0,26 К (± 0,26 °С)	Электротермометр медицинский ТПЭМ-1	ТУ 64-1-328-76	1
	(263-303) К [(-10...30) °С]	± 1 К (± 1 °С)	Термометр ТЛ	ТУ 25-2021.003-88	1
Относительная влажность	(40-80) %	± 5 %	Психрометр МВ-4М	ТУ 25-7310.040-88	1
Давление	250 кПа	Кл. 4	Манометр показывающий типа МТ	ТУ 25-02-72-88	1
	(20-300) мм.рт.ст.	±2 мм.рт.ст	Измеритель артериального давления мембранный ИАДМ-ОП	ТУ 64-1-3878-85	1

Примечание – Допустимо применение других средств измерительной техники, приборов и оборудования, которые обеспечивают необходимый диапазон измерений и требуемую точность.

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
------	------	-------------	---------	------

ПТК КВО.00.000 ПИМ1

Лист.

13

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(обязательное)

ПРОТОКОЛ

испытаний экспериментального образца
костюма противотеплового ПТК КВО

г.Донецк

«__» августа 2016 г.

Комиссия в составе:

председатель – заместитель директора по научной работе Мамаев В.В.,
заместитель
председателя – начальник научно-исследовательского отдела дыхательной, медицинской, конструкторской аппаратуры и средств противотепловой защиты спасателей (ОДМКА и СПЗС) Медгаус В.М.,

и члены комиссии: – начальник научно-технического отдела испытаний, стандартизации и метрологии (НТОИСМ), (Главный метролог) Потапенко И.А.;
– главный инженер Волынец В.В.;
– начальник опытно-экспериментального производства отдела пожарной безопасности (ОЭП ОПБ) Олейников С.В.
– техник I категории научно-исследовательского отдела средств защиты органов дыхания (ОСЗД) Акименко О.В.;
– начальник опытно-экспериментального полигона (ОЭП) Нагорный А.А.;
– техник I категории научно-исследовательского отдела дыхательной, медицинской, контрольной аппаратуры и средств противотепловой защиты спасателей (ОДМКА и СПЗС) Евстигнеева В.И.;
– научный сотрудник научно-исследовательского отдела гражданской защиты (ОГЗ) Завьялов Г.В.;
– инженер 2 категории научно-исследовательского отдела гражданской защиты (ОГЗ) Федоринова С.А.,

назначенная приказом директора НИИГД «РЕСПИРАТОР» от 25.07.2016 г. № 106, в соответствии с «Программой и методикой испытаний экспериментального образца ПТК КВО», утвержденной 03 июля 2016 г., в период с 08.08.2016 г. по 26.08.86 г, провела испытания противотеплового костюма ПТК КВО в тепловой камере и на опытно-экспериментальном полигоне НИИГД «РЕСПИРАТОР».

Экспериментальный образец ПТК КВО разработан и изготовлен Научно-исследовательским институтом горноспасательного дела.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	ПТК КВО.00.000 ПМ1	Лист.
											14

Комиссия отмечает следующее:

РАЗДЕЛ I

Техническая характеристика изделия и намечаемая область применения.

1.1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

1.1.1. Время противотепловой защиты
при температуре окружающей
среды, мин, не менее

100°C -	60
150°C -	40
200°C -	20

1.1.2.	Хладагент	проточная вода
1.1.3.	Масса снаряженного костюма, кг, не более	20
1.1.4.	Полный средний срок службы лет, не менее	3

1.2. НАМЕЧЕННАЯ ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Противотепловой костюм ПТК КВО (в дальнейшем «костюм ПТК КВО») в комплекте с респиратором предназначен для защиты человека при ведении спасательных работ в непригодной для дыхания атмосфере с температурой до 200 °С и любой возможной влажностью достигающей «точки росы» при температуре 60 °С.

1.3. ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ И МЕСТА ИСПЫТАНИЙ

Испытания костюма ПТК КВО проводились в тепловой камере и на опытно-экспериментальном полигоне НИИГД «РЕСПИРАТОР»..

Тепловая камера имеет объем 50 м³, площадь 20 м², предел изменения температуры - (25...50) °С и относительной влажности -(0...100)%. Камера оборудована эргометром, скамейкой «степ-тест», площадкой для переноса кирпичей. Контрольно-измерительная аппаратура позволяет получить следующие физиологические показатели: пульс, кардиограмму сердца, температуру кожи и подкостюмного пространства, ректальную температуру, артериальное давление.

На опытно-экспериментальном полигоне была выбрана ровная площадка размерами 30x100 м на которой из пиломатериалов был сформирован штабель 2x2 м и высотой 2 м. Изменение теплового потока достигалось приближением испытателя к горящему штабелю или удалению от него. Нагрузка имитировалась перемещением с пожарным стволом вдоль фронта очага пожара и степ-тестом.

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

ПТК КВО.00.000 ПМ1

Лист.

15

Выводы и рекомендации

2.1. Испытания экспериментального образца костюма ПТК КВО в количестве 1 шт. для определения времени защитного действия проведены в соответствии с программой и методикой ПТК КВО.00.000 ПМ1 и подтвердили их соответствие расчетному времени защитного действия.

Наименование параметра	Норма	Действительное значение	Соответствует или нет
Время защитного действия не менее, мин, при температур., °С			
100	60		
150	40		
200	20		

Ввести указанное время противотепловой защиты в техническое задание.

2.2. Костюм ПТК КВО должен применяться в комплекте с респиратором Р-30 ТУ 12.43.73-81 и всеми другими респираторами, соответствующими требованиям ОСТ 12.43.247-83 со сроком защитного действия не менее 2 час. и массой не превышающей 12 кг.

Председатель комиссии

Зам.председателя комиссии

Члены комиссии:

В.В. Мамаев

В.М. Медгаус

И.А. Погапенко

В.В. Вольнец

С.В. Олейников

О.В. Акименко

А.А. Нагорный

В.И. Евстигнеева

Г.В. Завьялов

С.А. Федоринова

Подп. и дата

Име. № дубл.

Взам. име. №

Подп. и дата

Име. № подл.

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

ПТК КВО.00.000 ПМ1

Лист.

16

Приложение Б

ПРОТОКОЛ

испытаний экспериментального образца облегченного противотеплового костюма для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла

г.Донецк

«29» августа 2016 г.

Комиссия в составе:

председатель комиссии:

Мамаев В.В. – заместитель директора по научной работе, д-р техн.наук;

заместитель председателя:

Медгаус В.М. – начальник научно-исследовательского отдела дыхательной медицинской, конструкторской аппаратуры и средств противотепловой защиты спасателей (НИОДМКА и СПЗС);

члены комиссии:

Потапенко И.А. – начальник научно-технического отдела испытаний, стандартизации и метрологии (НТОИСМ), (Главный метролог);

Волынец В.В. – главный инженер;

Олейников С.В. – начальник опытно-экспериментального производства отдела пожарной безопасности (ОЭП ОПБ);

Акименко О.В. – техник I категории научно-исследовательского отдела средств защиты органов дыхания (ОСЗД);

Нагорный А.А. – начальник опытно-экспериментального полигона (ОЭП);

Евстигнеева В.И. – техник I категории НИОДМКА и СПЗС;

Завьялов Г.В. – научный сотрудник научно-исследовательского отдела гражданской защиты (НИОГЗ);

Федоринова С.А. – инженер 2 категории НИОГЗ,

назначенная приказом директора НИИГД «РЕСПИРАТОР» от 25.07.2016 г. № 106, в соответствии с «Программой и методикой испытаний экспериментального образца ПТК КВО», утвержденной 03 июля 2016 г., в период с 08.08.2016 г. по 26.08.86 г, провела испытания экспериментального образца облегченного противотеплового костюма для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла в тепловой камере и на опытно-экспериментальном полигоне НИИГД «РЕСПИРАТОР».

1. ОБЪЕКТ ИСПЫТАНИЙ, ЕГО НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Экспериментальный образец облегченного противотеплового костюма для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла (ПТК ВО) состоит из двух оболочек: внутренней с водяным охлаждением открытого цикла и наружной - теплоотражательной.

Внутренняя оболочка разработана и изготовлена НИИГД «РЕСПИРАТОР». Она представляет из себя двухслойное изделие с вшитыми

между слоями поливинилхлоридными трубками с внутренним диаметром 3 мм. Вода, отобранная из рукавной линии с помощью специальной вставки, через входящий штуцер проходит по 8 направлениям, охлаждая различные части тела человека. Нагретая вода по двум выводящим штуцерам, расположенным на правой и левой голени ног, выбрасывается наружу в окружающую среду. Общая масса внутренней оболочки 3 кг. Масса воды в трубках и штуцерах 1,9 кг. В качестве наружной теплоотражающей оболочки применяли теплоотражающий костюм ТК-800 изготовленный в России и применяемый в пожарно-спасательных подразделениях МЧС ДНР. Масса наружной оболочки – 6,5 кг.

Противотепловой костюм ПТК ВО в комплекте с изолирующим респиратором Р-30 предназначен для защиты спасателя при тушении пожаров и ведении аварийно-спасательных работ в непригодной для дыхания атмосфере с температурой окружающей среды до 200 °С и любой влажностью, достигающей «точки росы» при температуре 60 °С.

2. ЦЕЛЬ ИСПЫТАНИЙ

Цель испытаний - определение возможности использования в качестве хладагента ПТК ВО проточной воды из пожарного рукава, подаваемой на тушение пожара или защиту производственного оборудования в ходе проведения аварийно-спасательных работ, и определение времени защитного действия костюма.

Критериями оценки теплового состояния испытателя являются физиологические параметры: частота сердечных сокращений (не более 150 мин⁻¹ согласно ГОСТ Р 53264–2009), температура кожи (не выше 38,5 °С), а также температура в подкостюмном пространстве (между наружной и внутренними оболочками).

3. УСЛОВИЯ И МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Испытания костюма ПТК ВО проводили в тепловой камере при температуре 37 и 40 °С, а также на опытно-экспериментальном полигоне НИИГД «РЕСПИРАТОР» при температуре на наружной поверхности костюма 180...220 °С.

Для снижения давления воды во внутренней оболочке в водоотборном устройстве устанавливали дросселирующую шайбу диаметром 1,9 мм. При рабочем давлении воды в системе внутреннего противопожарного водоснабжения и у пожарного ствола 0,4 МПа шайба позволяла снизить давление до 0,0275 МПа и отбирать для охлаждения подкостюмного пространства 0,23 м³/ч (3,88 л/мин.) воды из рукавной линии.

Тепловая камера имеет объем 50 м³, площадь 20 м², предел изменения температуры плюс (25...50) °С и относительной влажности - (0...100) %. Камера оборудована эргометром, ступенькой «степ-тест», площадкой для переноса кирпичей. Контрольно-измерительная аппаратура позволяет контролировать следующие физиологические параметры: частоту сердечных

сокращений, температуру кожи, артериальное давление, а также температуру подкостюмного пространства.

На опытно-экспериментальном полигоне выбрана ровная площадка размерами 50x50 м, на которой из пиломатериалов сформирован штабель 2x2 м и высотой 2 м. Изменение температуры воздействующей на наружную оболочку костюма достигали приближением или удалением испытателя от горящего штабеля и определяли по показаниям пирометра. Физическую нагрузку имитировали перемещением испытателя с пожарным стволом вдоль фронта очага пожара.

4. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Применяемые в ходе испытаний средства измерений приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Средства измерения, применяемые в ходе испытаний

Наименование физической величины	Требуемый предел (диапазон измерений)	Требуемая точность (класс, погрешность)	Наименование и тип прибора, оборудования	Обозначение НД
Масса	(30-150)кг	±0,1 %	Весы медицинские РП-150МГ	ТУ 25.06.1307-75
Линейные размеры	(0-10) м	± 1 мм	Рулетка измерительная металлическая Р10Н2К	ГОСТ 7502-98
Время	(0-240) ч	± 1 мин	Часы настенные	ГОСТ 27752-88
	(0-600) с	Кл. 3	Секундомер механический СДСпр-1	ТУ 25-1819.0021-90
Температура	(263-473) К [(-10...200) °С]	Кл. 5	Прибор измерительный с преобразователем термоэлектрическим РГЭ-4.1-12-220	ДСТУ 2857-94
	(323-1173) К [(50...800) °С]	± 0,5 °С	Пирометр НИМБУС	31557302.001.000.000 РЭ
	(289-315) К [(16...42) °С]	± 0,26 К (± 0,26 °С)	Электротермометр медицинский ТПЭМ-1	ТУ 64-1-328-76
	(263-303) К [(-10...30) °С]	± 1 К (± 1 °С)	Термометр ТЛ	ТУ 25-2021.003-88
Относительная влажность	(40-80) %	± 5 %	Психрометр МВ-4М	ТУ 25-7310.040-88
Давление	250 кПа	Кл. 4	Манометр показывающий типа МТ	ТУ 25-02-72-88
	(20-300) мм.рт.ст.	±2 мм.рт.ст	Измеритель артериального давления мембранный ИАДМ-ОП	ТУ 64-1-3878-85

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПРОТИВОТЕПЛОВОГО КОСТЮМА В ТЕПЛОВОЙ КАМЕРЕ И НА ОПЫТНО – ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ НИИГД «РЕСПИРАТОР»

Результаты испытаний представлены в таблицах 5.1 - 5.4.

Таблица 5.1

Антропологические показатели испытуемого до испытания

Ф.И.О.	Возраст, годы	Рост, см	Масса, кг	Темпера- тура тела, °С	ЧСС, мин ⁻¹	АД, мм рт. ст
З.Г.В.	59	171	80,5	36,9	80	115/78

Таблица 5.2

Эргометрические показатели при работе в ПТК ВО в тепловой камере
при температуре 37 °С и влажности 75 %.

Время от начала эксперимента, мин	Вид физической нагрузки	Частота пульса, мин ⁻¹	Температура кожи на бедре, °С
Исходные данные		100	31
10	Ходьба в тепловой камере	112	30
15	Отдых	100	30
25	Степ-тест	128	30
30	Отдых	120	27
40	Эргометр	132	28
45	Отдых	118	28
55	Степ-тест	140	31
60	Отдых	128	30
65	Эргометр	140	30

Масса испытуемого в экипировке – 97,2 кг. Температура воды на входе во внутреннюю оболочку составляла плюс 22 °С, а на выходе из нее плюс 27 °С.

Таблица 5.3

Эргометрические показатели при работе в ПТК ВО в тепловой камере
при температуре 40 °С и влажности 65 %.

Время от начала эксперимента, мин	Вид физической нагрузки	Частота пульса, мин ⁻¹	Температу-ра кожи на бедре, °С
Исходные данные		116	33
10	Степ-тест	130	30
15	Отдых	104	32
25	Эргометр	132	31
30	Отдых	126	27

Окончание таблицы 5.3

40	Степ-тест	142	30
45	Отдых	128	26
55	Эргометр	144	28
60	Отдых	108	29
70	Степ-тест	150	30

Масса испытателя в экипировке – 97,1 кг. Температура воды на входе во внутреннюю оболочку составляла плюс 22 °С, а на выходе из нее плюс 29 °С.

Таблица 5.4

Эргометрические показатели при работе в ПТК ВО, на опытно-экспериментальном полигоне НИИГД «РЕСПИРАТОР» вблизи очага пожара, температура на поверхности ТК-800 плюс 180-220 °С.

Время от начала эксперимента, мин	Вид физической нагрузки	Частота пульса, мин ⁻¹	Температура подкостюмного пространства в шлеме °С
Исходные данные		116	33
5	Передвижение с пожарным стволом вблизи очага пожара	140	-
8	Отдых на позиции	132	-
11	Передвижение с пожарным стволом вблизи очага пожара	136	-
14	Отдых на позиции	132	-
17	Передвижение с пожарным стволом вблизи очага пожара	140	-
20	Отдых на позиции	132	-
23	Передвижение с пожарным стволом вблизи очага пожара	148	40

Масса испытателя в экипировке – 103,7 кг. Температура воды на входе во внутреннюю оболочку составляла плюс 24 °С, а на выходе из нее плюс 29 °С.

6. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Результаты испытаний экспериментального образца облегченного противотеплового костюма для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла подтвердили возможность применения в качестве хладагента проточной воды, подаваемой на тушение пожара или защиты производственного оборудования в ходе ведения аварийно-спасательных работ.

2. Время защитного действия при работе во внутренней оболочке ПТК ВО в тепловой камере при температуре плюс 37 °С и влажности 75 % составило 65 мин., при плюс 40 °С и влажности 65 % - 70 мин.
3. Время достижения в подкостюмном пространстве ПТК ВО температуры плюс 40 °С на опытно-экспериментальном полигоне НИИГД «РЕСПИРАТОР» вблизи очага пожара, при температуре на поверхности ПТК ВО плюс 180...220 °С составило 23 мин.
4. Масса снаряженного костюма, без средств защиты органов дыхания, составляет не более 11 кг.
5. При работе в противотепловом костюме ПТК ВО не ощущается существенное ограничение движений при наклонах, поворотах туловища и приседаниях.
6. Костюм ПТК ВО может применяться с респиратором Р-30 (ТУ 12.43.73-81) и другими изолирующими респираторами с охлаждающим элементом, соответствующими требованиям ОСТ 12.43.247-83 со временем защитного действия не менее 2 ч.
7. Рекомендуется провести дополнительные испытания экспериментального образца костюма на промышленных объектах при температурах 200 и 300 °С при условии обеспечения средствами связи, телеметрии, измерения температуры воды на входе в оболочку водяного охлаждения и на выходе из нее.

Председатель комиссии



В.В. Мамаев

Зам.председателя
комиссии



В.М. Медгаус

Члены комиссии:



И.А. Потапенко



В.В. Волынец



С.В. Олейников



О.В. Акименко



А.А. Нагорный



В.И. Евстигнеева



Г.В. Завьялов



С.А. Федоринова

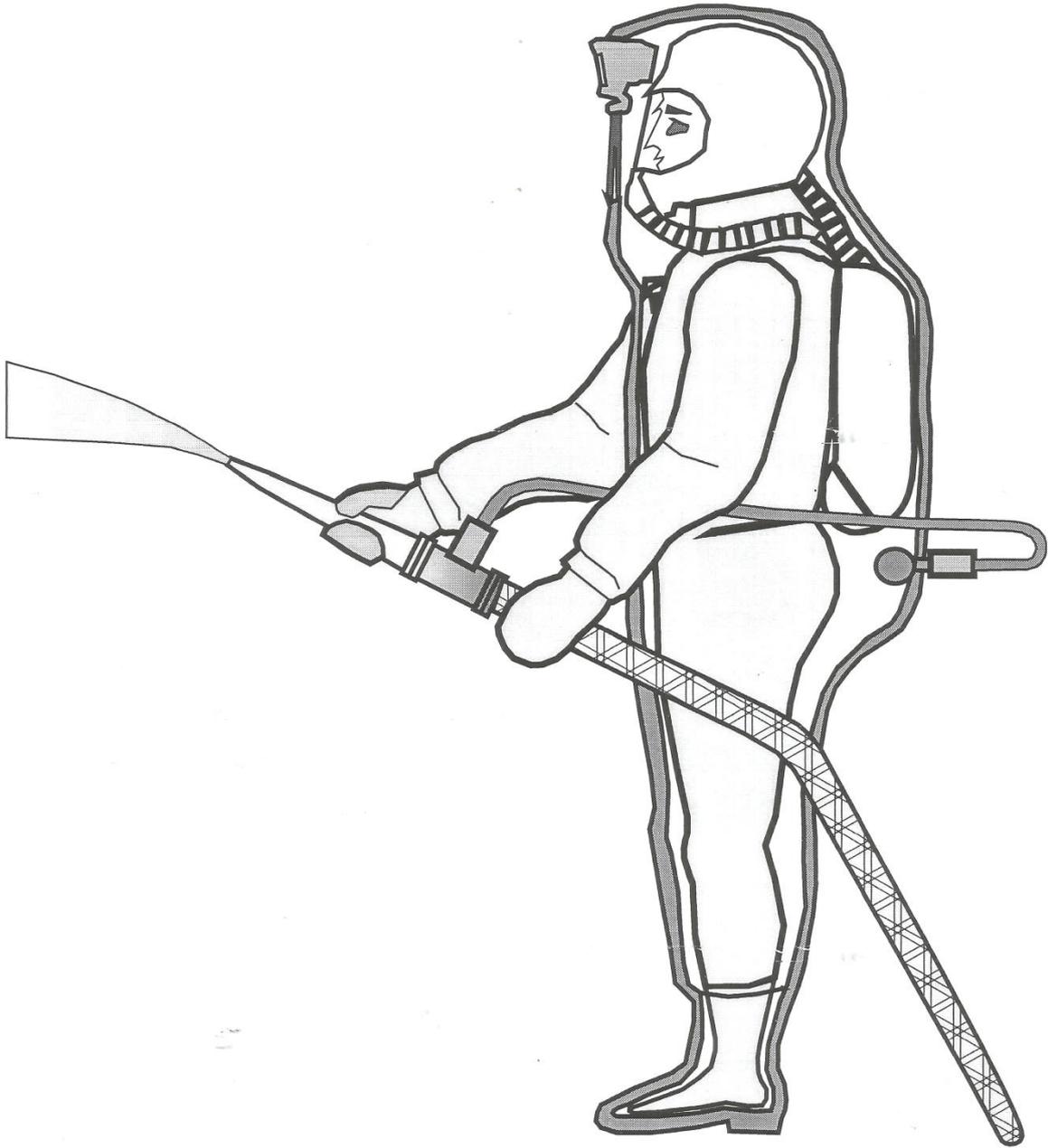


Рис. 1 Схема подключения костюма к источнику воды

Приложение В

Государственный научно-исследовательский институт
горноспасательного дела, пожарной безопасности
и гражданской защиты «РЕСПИРАТОР»
Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий
Донецкой Народной Республики
(НИИГД «РЕСПИРАТОР»)

Утверждаю

Директор НИИГД «РЕСПИРАТОР»
канд. техн. наук



В.Г. Агеев

А К Т

испытаний экспериментального образца облегченного противотеплового
костюма для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла

г. Донецк

«30» августа 2016 г.

Комиссия в составе:

председатель комиссии:

Мамаев В.В. – заместитель директора по научной работе, д-р техн. наук;

заместитель председателя:

Медгаус В.М. – начальник научно-исследовательского отдела дыхательной
медицинской, конструкторской аппаратуры и средств
противотепловой защиты спасателей
(НИОДМКА и СПЗС);

члены комиссии:

Потапенко И.А. – начальник научно-технического отдела испытаний,
стандартизации и метрологии (НТОИСМ),
(Главный метролог);

Волынец В.В. – главный инженер;

Олейников С.В. – начальник опытно-экспериментального производства
отдела пожарной безопасности (ОЭП ОПБ);

Акименко О.В. – техник I категории научно-исследовательского отдела
средств защиты органов дыхания (ОСЗД);

Нагорный А.А. – начальник опытно-экспериментального полигона (ОЭП);

Евстигнеева В.И. – техник I категории НИОДМКА и СПЗС;

Завьялов Г.В. – научный сотрудник научно-исследовательского отдела
гражданской защиты (НИОГЗ);

Федоринова С.А. – инженер 2 категории НИОГЗ,

назначенная приказом директора НИИГД «РЕСПИРАТОР» от 25.07.2016 г. № 106, в соответствии с «Программой и методикой испытаний экспериментального образца ПТК КВО», утвержденной 03 июля 2016 г., в период с 08.08.2016 г. по 18.08.86 г, провела испытания экспериментального образца облегченного противотеплового костюма для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла в тепловой камере и на опытно-экспериментальном полигоне НИИГД «РЕСПИРАТОР».

1. ОБЪЕКТ ИСПЫТАНИЙ, ЕГО НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Экспериментальный образец облегченного противотеплового костюма для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла (ПТК ВО) состоит из двух оболочек: внутренней с водяным охлаждением открытого цикла и наружной - теплоотражательной.

Внутренняя оболочка разработана и изготовлена НИИГД «РЕСПИРАТОР». Она представляет из себя двухслойное изделие с вшитыми между слоями поливинилхлоридными трубками с внутренним диаметром 3 мм. Вода, отобранная из рукавной линии с помощью специальной вставки, через входящий штуцер проходит по 8 направлениям, охлаждая различные части тела человека. Нагретая вода по двум выводящим штуцерам, расположенным на правой и левой голени ног, выбрасывается наружу в окружающую среду. Общая масса внутренней оболочки 3 кг. Масса воды в трубках и штуцерах 1,9 кг. В качестве наружной теплоотражающей оболочки применяли теплоотражающий костюм ТК-800 изготовленный в России и применяемый в пожарно-спасательных подразделениях МЧС ДНР. Масса наружной оболочки – 6,5 кг.

Противотепловой костюм ПТК ВО в комплекте с изолирующим респиратором Р-30 предназначен для защиты спасателя при тушении пожаров и ведении аварийно-спасательных работ в непригодной для дыхания атмосфере с температурой окружающей среды до 200 °С и любой влажностью достигающей «точки росы» при температуре 60 °С.

2. ЦЕЛЬ ИСПЫТАНИЙ

Цель испытаний - определение возможности использования в качестве хладагента ПТК ВО проточной воды из пожарного рукава, подаваемой на тушение пожара или защиту производственного оборудования в ходе проведения аварийно-спасательных работ, и определение времени его защитного действия.

Критериями оценки теплового состояния испытателя являются физиологические параметры: частота сердечных сокращений (не более 150 мин⁻¹ согласно ГОСТ Р 53264–2009), температура кожи (не выше 38,5 °С), а также температура в подкостюмном пространстве (между наружной и внутренними оболочками).

3. УСЛОВИЯ И МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Испытания костюма ПТК ВО проводили в тепловой камере при температуре 37 и 40 °С, а также на опытно-экспериментальном полигоне НИИГД «РЕСПИРАТОР» при температуре на наружной поверхности костюма 180...220 °С.

Для снижения давления воды во внутренней оболочке в водоотборном устройстве устанавливали дросселирующую шайбу диаметром 1,9 мм. При рабочем давлении воды в системе внутреннего противопожарного водоснабжения и у пожарного ствола 0,4 МПа шайба позволяла снизить давление до 0,0275 МПа и отбирать для охлаждения подкостюмного пространства 0,23 м³/ч (3,88 л/мин.) воды из рукавной линии.

Тепловая камера имеет объем 50 м³, площадь 20 м², предел изменения температуры плюс (25...50) °С и относительной влажности -(0...100) %. Камера оборудована эргометром, ступенькой «степ-тест», площадкой для переноса кирпичей. Контрольно-измерительная аппаратура позволяет контролировать следующие физиологические параметры: частоту сердечных сокращений, температуру кожи, артериальное давление, а также температуру подкостюмного пространства.

На опытно-экспериментальном полигоне выбрана ровная площадка размерами 50x50 м, на которой из пиломатериалов сформирован штабель 2x2 м и высотой 2 м. Изменение температуры воздействующей на наружную оболочку костюма достигали приближением или удалением испытателя от горящего штабеля и определяли по показаниям пирометра. Физическую нагрузку имитировали перемещением испытателя с пожарным стволом вдоль фронта очага пожара.

4. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Результаты испытаний экспериментального образца облегченного противотеплового костюма для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла подтвердили возможность применения в качестве хладагента проточной воды, подаваемой на тушение пожара или защиты производственного оборудования в ходе ведения аварийно-спасательных работ.
2. Время защитного действия при работе во внутренней оболочке ПТК ВО в тепловой камере при температуре плюс 37 °С и влажности 75 % составило 65 мин., при плюс 40 °С и влажности 65 % - 70 мин.
3. Время достижения в подкостюмном пространстве ПТК ВО температуры плюс 40 °С на опытно-экспериментальном полигоне НИИГД «РЕСПИРАТОР» вблизи очага пожара, при температуре на поверхности ПТК ВО плюс 180...220 °С составило 23 мин.
4. Масса снаряженного костюма, без средств защиты органов дыхания, составляет не более 11 кг.

5. При работе в противотепловом костюме ПТК ВО не ощущается существенное ограничение движений при наклонах, поворотах туловища и приседаниях.
6. Костюм ПТК ВО может применяться с респиратором Р-30 (ТУ 12.43.73-81) и другими изолирующими респираторами с охлаждающим элементом, соответствующими требованиям ОСТ 12.43.247-83 со временем защитного действия не менее 2 ч.
7. Рекомендуется провести дополнительные испытания экспериментального образца костюма на промышленных объектах при температурах 200 °С и 300 °С.

Протокол испытаний прилагается.

Председатель комиссии



В.В. Мамаев

Приложение Г

Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики (МЧС ДНР)

Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «РЕСПИРАТОР» (НИИГД «РЕСПИРАТОР»)

УТВЕРЖДАЮ

Министр по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий ДНР, генерал-майор службы гражданской защиты



А.А. Кострубицкий

2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на разработку облегченного теплозащитного костюма для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла

№ 11616013

СОГЛАСОВАНО

Директор департамента пожарно-спасательных сил и специальных формирований МЧС ДНР, полковник службы гражданской защиты

Д.В. Мотов

«26» декабря 2016 г.

Директор НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР, канд. техн. наук



В.Г. Агеев

2016 г.

Донецк 2016

1 НАИМЕНОВАНИЕ НИОКР, ШИФР И ОСНОВАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ НИОКР

1.1 Наименование НИОКР – «Разработать облегченный теплозащитный костюм для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла».

1.2 Шифр работы – № 11616013.

1.3 Условное обозначение в конструкторской документации – «Противотепловой костюм водяного охлаждения» (далее – ПТКВО).

1.4 Основанием для выполнения НИОКР является План работы Государственного научно-исследовательского института горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР на 2016 г., утвержденный Министром по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики 25.12.2015 г.

2 ИСПОЛНИТЕЛИ НИОКР И ИЗГОТОВИТЕЛЬ

2.1 Головным исполнителем НИОКР по разработке ПТКВО является научно-исследовательский отдел гражданской защиты (НИОГЗ), соисполнителем – специализированное конструкторское бюро (СКБ) НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР.

2.2 Изготовитель опытного образца ПТКВО – опытно-экспериментальное производство отдела пожарной безопасности НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР.

3 ЦЕЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ НИОКР И НАЗНАЧЕНИЕ ПРОДУКЦИИ

3.1 Целью НИОКР является разработка облегченного теплозащитного костюма для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла, обеспечивающего нормализацию температурного режима в подкостюмном пространстве при тушении пожара и ведении аварийно-спасательных работ в зоне повышенных температурных воздействий.

3.2 ПТКВО в комплекте с респиратором изолирующим регенеративным

P-30 предназначен для защиты спасателя при тушении пожаров и ведении аварийно-спасательных работ в непригодной для дыхания атмосфере с температурой окружающей среды до 300 °С и относительной влажностью до 100 %.

3.3 Серийно выпускаемые изделия единичного изготовления, аналогичные ПТКВО отсутствуют.

4 СОСТАВ ПРОДУКЦИИ

4.1 ПТКВО представляет собой защитную одежду спасателя многоразового применения с контактным жидкостным принципом теплосъема с использованием в качестве хладагента проточной воды из пожарной рукавной линии.

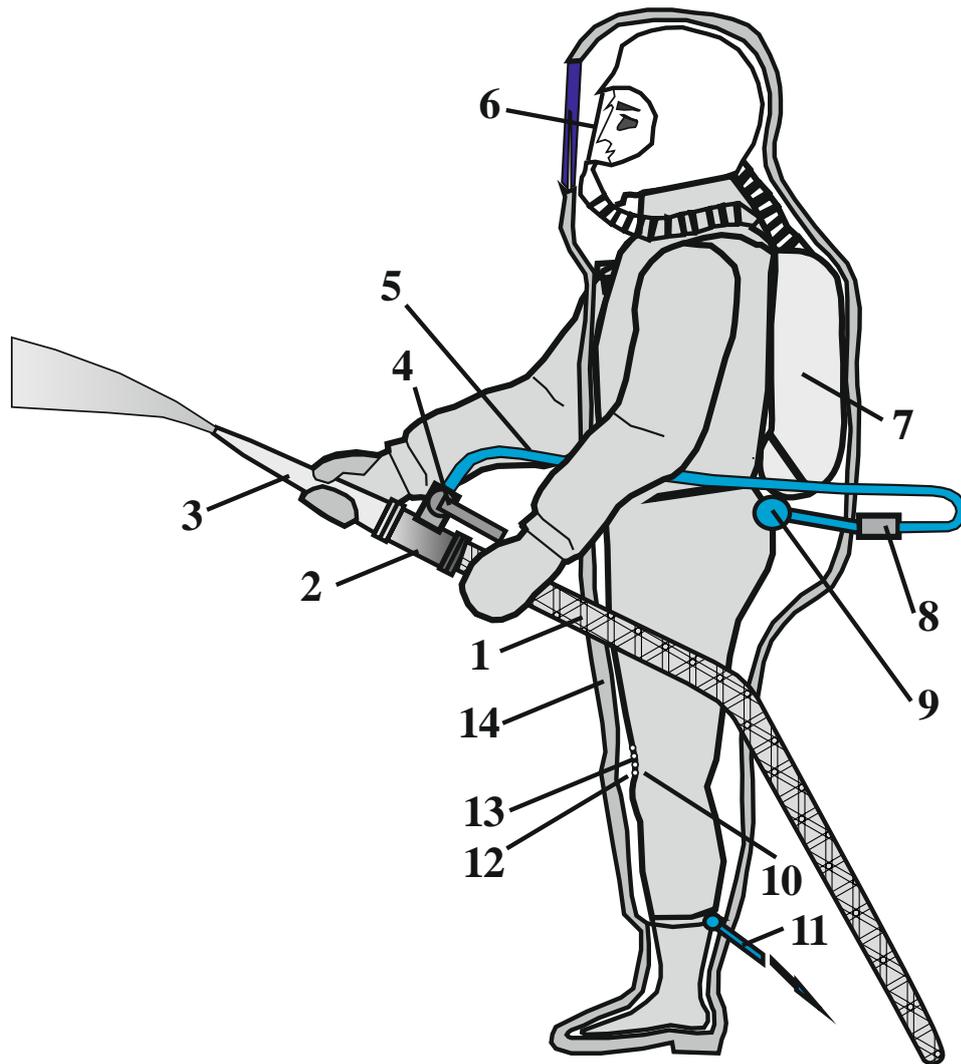
4.2 ПТКВО должен состоять из наружной теплоотражающей оболочки и комбинезона водяного охлаждения (КВО).

В качестве наружной теплоотражающей оболочки должен применяться теплоотражающий костюм ТК-800 производства России ТУ 8575-019-08578309 (Приложение А). Масса наружной оболочки должна быть не более 6,5 кг.

КВО должен быть изготовлен из двух слоев полотна трикотажного (ТУ 62 УССР 61), между которыми в прошитых волнообразных пазах расположены эластичные медицинские трубки из поливинилхлорида марки ПМ-1/42 (ТУ 64-1-2813) с внутренним диаметром 3 мм, объединенных коллекторами.

На передней поверхности КВО должен иметь разъем-молнию для удобства надевания и снятия.

ПТКВО и схема его подключения к пожарной рукавной линии представлены на рисунке 4.1.



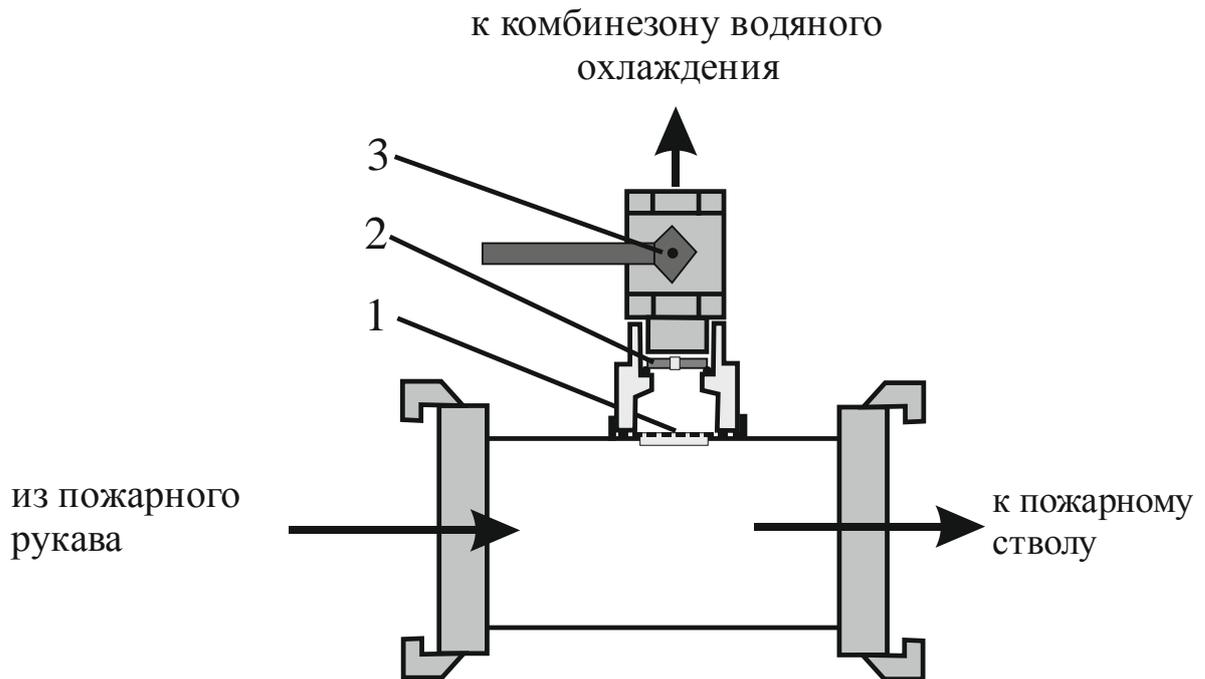
1 – пожарный рукав; 2 – устройство для отбора воды; 3 – пожарный ствол; 4 – пробковый кран; 5 – соединительный шланг; 6 – маска респиратора; 7 – изолирующий респиратор; 8 – быстроразъемное соединение; 9 – входной коллектор; 10 – внутренний слой КВО; 11 – выходной коллектор; 12 – поливинилхлоридные трубки; 13 – внешний слой КВО; 14 – наружная теплоотражающая оболочка

Рисунок 4.1 – ПТКВО и схема его подключения

4.3 Устройство для отбора воды из пожарной рукавной линии (рисунок 4.2) должно устанавливаться между пожарным стволом и пожарным рукавом путем соединения муфтовых полугаек. Проход для отбора воды в этом

устройстве должен защищаться фильтрующей сеткой с ячейкой 0,5х0,5 мм для предотвращения засорения трубок КВО.

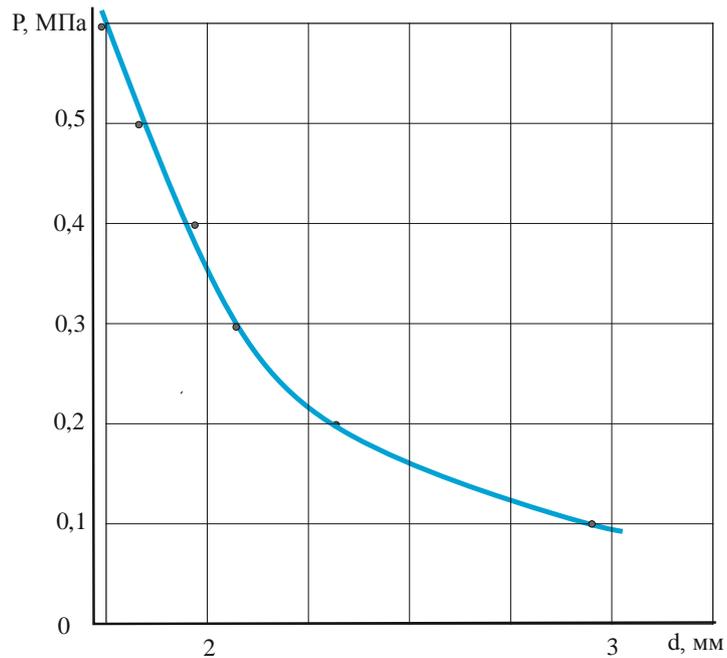
Пробковый кран должен обеспечивать подачу воды после подсоединения КВО к устройству для отбора воды с помощью быстроразъемного соединения и прекращать ее подачу перед отсоединением КВО.



1 – фильтрующая сетка; 2 – дроссельная шайба; 3 – пробковый кран

Рисунок 4.2 – Устройство для отбора воды из пожарной рукавной линии

4.4 В зависимости от давления в пожарной рукавной линии выбор диаметра дроссельной шайбы осуществляют согласно графика (рисунок 4.3).



P – давление воды в рукавной линии, МПа; d – диаметр отверстия дроссельной шайбы, мм

Рисунок 4.3 – График зависимости диаметра отверстия дроссельной шайбы от давления в пожарной рукавной линии

5 ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

5.1 Показатели назначения ПТКВО приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Показатели назначения ПТКВО

Наименование параметра	Значение параметра
Время защитного действия при воздействии температуры воздуха окружающей среды, мин, не менее: 100°C	90
200°C	60
300°C	40
Устойчивость наружной теплоотражающей оболочки к воздействию открытого пламени, с, не менее	30
Масса ПТКВО (без респиратора), кг, не более	12
Масса снаряженного ПТКВО (с респиратором, светильником и переговорным устройством), кг, не более	25
Средний срок службы, лет, не менее	5

5.2 ПТКВО должен применяться в комплекте с серийно выпускаемым респиратором изолирующим регенеративным Р-30 (ТУ 12.43.73), снаряженным ледяным охлаждающим элементом и панорамной лицевой маской, не ограничивающей обзор спасателю, и должен его защищать при тушении пожаров или ведении аварийно-спасательных работ в непригодной для дыхания атмосфере с температурой до 300 °С и относительной влажностью до 100 %.

5.3 КВО должен плотно облегать тело спасателя. Кисти рук и стопы ног должны защищаться двойными перчатками и носками с размещенными в них поливинилхлоридными трубками КВО.

5.4 КВО должен обеспечивать отвод тепла, выделяемого человеком и проникающего из окружающей среды, в количестве не менее 850 Вт.

5.5 В КВО в качестве хладагента должна использоваться проточная вода с температурой в диапазоне 10...25 °С, подаваемая на тушение пожара и ведение аварийно-спасательных работ.

5.6 Движение хладагента по трубкам КВО должно осуществляться принудительно за счет давления, создаваемого насосом пожарного автомобиля или пожарного водопровода с рабочим давлением 0,1...0,6 МПа.

5.7 КВО должен заполняться водой из пожарной рукавной линии с помощью устройства для ее отбора.

5.8 Между устройством для отбора воды и соединительным шлангом должен устанавливаться пробковый кран, позволяющий подавать воду после подсоединения КВО и прекращать ее подачу перед отсоединением комбинезона.

5.9 На соединительном шланге должно устанавливаться быстроразъемное соединение, позволяющее оперативно подсоединять и отсоединять КВО от пожарной рукавной линии.

5.10 Конструкция ПТКВО должна обеспечивать возможность его надевания и снятия с помощью одного помощника, а также возможность одетому в него спасателю ложиться на горизонтальную поверхность и подниматься с нее без посторонней помощи.

5.11 ПТКВО должен изготавливаться двух размеров, соответствующих типовой фигуре ростом 170...176 см и 179...185 см и обхватом груди 96...100 см и 104...108 см соответственно.

5.12 ПТКВО должен изготавливаться в исполнении У для категории размещения 5 по ГОСТ 15150, но при температуре от 50 до 300 °С и относительной влажности до 100 %.

6 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

6.1 Экономический эффект от внедрения ПКТВО заключается в создании безопасных условий труда спасателей за счет снижения риска получения ожогов и тепловых ударов при тушении пожаров.

6.2 Цена ПТКВО будет определена на стадии изготовления опытного образца.

7 ТРЕБОВАНИЯ К СЫРЬЮ, МАТЕРИАЛАМ И ПОКУПНЫМ КОМПЛЕКТУЮЩИМ ИЗДЕЛИЯМ

7.1 Для изготовления ПТКВО должны использоваться материалы и комплектующие изделия, соответствующие стандартам, техническим условиям.

8 ТРЕБОВАНИЯ К УПАКОВКЕ, МАРКИРОВКЕ И КОНСЕРВАЦИИ

8.1 Для транспортирования ПТКВО должен быть упакован в ящик типа Ш – 2 по ГОСТ 9396.

Эксплуатационная документация должна быть упакована в пакеты из полиэтиленовой пленки по ГОСТ 10354.

8.2 Транспортная маркировка по ГОСТ 14192 на ящике должна содержать:

- манипуляционный знак «Беречь от влаги»;
- наименование грузополучателя;
- наименование пункта назначения.
- наименование грузоотправителя;
- наименование пункта отправления.
- номер ящика;

– масса брутто и нетто.

8.3 Маркировка ПТКВО должна быть четкой, выполненной в местах, указанных на чертежах, и содержать: наименование или товарный знак предприятия-изготовителя; название и условное обозначение изделия, номер технических условий; порядковый номер изделия по нумерации предприятия-изготовителя; дата (месяц, год) изготовления.

8.4 ПТКВО должен транспортироваться всеми видами транспорта. Условия транспортирования должны соответствовать условиям хранения 5, а при морских перевозках в трюмах - 3 по ГОСТ 15150.

8.5 Условия хранения ПТКВО должны соответствовать группе условий хранения 1 по ГОСТ 15150.

9 ТРЕБОВАНИЯ К РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

9.1 Конструкторская документация на опытный образец ПТКВО должна состоять из:

- комплекта рабочих чертежей;
- программы и методики предварительных испытаний;
- программы и методики приемочных испытаний;
- руководства по эксплуатации;
- паспорта.

10 СТАДИИ И ЭТАПЫ НИОКР

10.1 Перечень стадий и этапов НИОКР приведен в таблице 10.1

Таблица 10.1 – Стадии и этапы НИОКР

№ п/п	Содержание работы (этапа)	Исполнитель	Срок выполнения, квартал, год		Чем заканчивается работа (этап)
			начало	окончание	
1	Провести патентно-информационные исследования существующей специальной защитной одежды	ОГЗ	1.16	1.16	Отчетом о патентно-информационных исследованиях
2	Разработать чертежи, изготовить экспериментальный образец костюма и провести его испытания	ОГЗ, СКБ ОПБ (ОЭП)	2.16	3.16	Актом об изготовлении экспериментального образца. Протоколом испытаний
3	Разработать, согласовать и утвердить техническое задание на костюм	ОГЗ	4.16	4.16	Утвержденным ТЗ на изделие
4	Разработать конструкторскую документацию на облегченный теплозащитный костюм для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла	ОГЗ, СКБ	1.17	1.17	Актом о разработке рабочих чертежей на костюм
5	Изготовить опытный образец ПТКВО. Разработать эксплуатационную документацию, программу и методику предварительных и приемочных испытаний	ОГЗ, СКБ ОПБ (ОЭП)	2.17	2.17	Актом об изготовлении ПТКВО. Эксплуатационной документацией, программой и методикой предварительных и приемочных испытаний.

№ п/п	Содержание работы (этапа)	Исполнитель	Срок выполнения, квартал, год		Чем заканчивается работа (этап)
			начало	окончание	
6	Провести предварительные испытания опытного образца ПТКВО, откорректировать конструкторскую документацию по результатам предварительных испытаний	ОГЗ, СКБ ОПБ (ОЭП)	3.17	3.17	Актом предварительных испытаний, актом корректировки КД по результатам предварительных испытаний
7	Провести приемочные испытания опытного образца ПТКВО	ОГЗ, СКБ ОПБ (ОЭП)	4.17	4.17	Актом приемочных испытаний, актом выбора места испытаний. Заключительным отчетом

11 ПОРЯДОК КОНТРОЛЯ И ПРИЕМКИ

11.1 Перечень документов, подлежащих согласованию и утверждению на различных этапах разработки, приведен в таблице 11.1.

Таблица 11.1– Перечень документов, подлежащих согласованию и утверждению на различных этапах разработки

Наименование документа	Организация согласовывающая	Организация утверждающая
Техническое задание	Департамент ПСС и спец. формирований МЧС ДНР	МЧС Донецкой Народной Республики
Программа и методика предварительных испытаний		НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР
Программа и методика приемочных испытаний	Департамент ПСС и спец. формирований МЧС ДНР	МЧС Донецкой Народной Республики
Руководство по эксплуатации	НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР	НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР

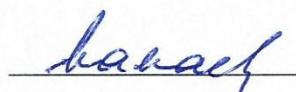
Местонахождение утвержденного Технического задания:

1-й экз. – МЧС ДНР;

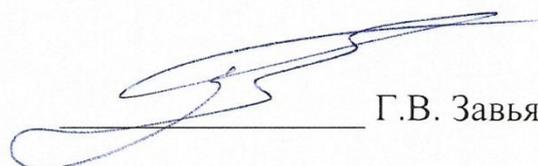
2-й экз. – архив НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР;

3-й экз. – научно-исследовательский отдел гражданской защиты
НИИГД «Респиратор»

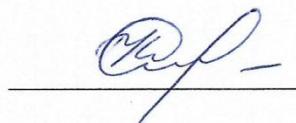
Заместитель директора
по научной работе
НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР,
д-р техн. наук


В.В. Мамаев

Руководитель разработки,
научный сотрудник
научно-исследовательского отдела
гражданской защиты


Г.В. Завьялов

Ответственный исполнитель,
инженер 2 категории
научно-исследовательского отдела
гражданской защиты


С.А. Федоринова

СОГЛАСОВАНО:

Начальник научно-технического
отдела испытаний, стандартизации
и метрологии


И.А. Потапенко

Начальник специализированного
конструкторского бюро


В.Ф. Паращевин

Приложение Д

УТВЕРЖДАЮ

Начальник Государственного пожарно -
спасательного отряда г. Донецк МЧС ДНР
полковник службы гражданской защиты

В.Н. Зайцев

201 8 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

научно-технической продукции

1. Наименование НТП: экспериментальный образец противотеплового костюма спасателя с водяным охлаждением открытого цикла.
2. Вид выходного результата: экспериментальный образец противотеплового костюма спасателя с водяным охлаждением открытого цикла
3. Заказчик НТП: Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики.
4. Исполнитель(и) работ: Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР.
5. Основание выполнения научного исследования (НИОКР): План работы Государственного научно-исследовательского института горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР на 2015 – 2016 годы по теме № 11616013 «Разработать облегченный теплозащитный костюм для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла».
6. Дата и сведения о приемке результатов научного исследования (НИОКР): Отчет о научно-исследовательской работе НИИГД «Респиратор» – Донецк, № 11516015 2016г. (заключительный) по теме № 11616013 «Разработать облегченный теплозащитный костюм для спасателя с водяным охлаждением открытого цикла».
7. Сведения о внедрении НТП: экспериментальный противотепловой костюм спасателя с водяным охлаждением открытого цикла прошел апробацию в качестве специального защитного средства в 7 пожарно-спасательной части Государственного пожарно-спасательного отряда г. Донецк на протяжении 2017 года.

Первый заместитель начальника отряда
подполковник службы гражданской защиты

Р.Н. Курибло

Начальнику группы по вопросам ПСС отряда
майор службы гражданской защиты

А.В. Аллянов

Приложение Е

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и педагогической работе ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, д.т.н., доц.



К.Н. Лабинский

« 14 » XII 2017 г.

АКТ

внедрения в учебный процесс результатов диссертационной работы старшего преподавателя кафедры «Надзорной деятельности и правового обеспечения» Завьялова Г.В. «Обоснование параметров противотеплового костюма спасателя с водяным охлаждением открытого цикла»

1. Настоящим актом подтверждается, что разработанный Г.В. Завьяловым экспериментальный образец противотеплового костюма спасателя с водяным охлаждением открытого цикла используется в учебном процессе при проведении занятий по курсу «Пожарная техника» и «Подготовка газодымозащитников» Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Академия гражданской защиты» Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики при подготовке специалистов направления «Пожарная безопасность».

2. Научные результаты диссертационной работы Г.В. Завьялова используются при подготовке специалистов направления «Пожарная безопасность», а также при научной деятельности.

Декан факультета
пожарной безопасности,
подполковник службы
гражданской защиты

А.А. Колодяжный

Заведующий кафедрой
«Пожаротушения, пожарной и
аварийно-спасательной подготовки»
к.т.н., доц.

О.Э. Толкачев