

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

Соколянский Владимир Владиславович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СРЕДСТВ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ
СПАСАТЕЛЕЙ В КАБИНЕ ПОЖАРНОГО АВТОМОБИЛЯ**

Специальность 05.26.01 – «Охрана труда»

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

Идентичность всех экземпляров
диссертации ПОДТВЕРЖДАЮ:
Ученый секретарь диссертационного
совета Д 01.008.01



И.А. Бершадский

Донецк – 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Глава 1 Состояние вопроса, цель и задачи исследования	11
1.1 Система «Окружающая среда – Объект воздействия – Пожарный автомобиль – Спасатель»	12
1.2 Анализ влияния тепловых факторов окружающей среды на подсистему «Пожарный автомобиль – Спасатель»	14
1.3 Средства обеспечения микроклимата в кабине автомобиля.....	20
1.4 Анализ существующих способов защиты спасателей от тепловых потоков открытого пожара.....	29
1.5 Безопасные микроклиматические параметры в кабине пожарного автомобиля.....	31
1.6 Обзор современных методов оценки микроклимата в кабинах транспортных средств.....	33
Цель и задачи исследования	37
Глава 2 Теоретические исследования теплообменных процессов в ограждениях кабин автомобилей.....	39
2.1 Оценка теплового баланса кабины автомобиля	39
2.2 Исследование теплообменных процессов в ограждающих конструкциях кабин	49
2.3 Математическое моделирование теплообмена открытого пожара с кабиной пожарного автомобиля	55
2.4 Численное решение сопряженной задачи теплообмена	58
Выводы по главе 2.....	62
Глава 3 Экспериментальные исследования процессов теплообмена окружающей среды с кабиной автомобиля	63
3.1 Условия моделирования теплового воздействия открытого пожара на автомобиль.....	64
3.2 Методика исследования теплового режима кабины	67
3.3 Климатические воздействия на кабину автомобиля	72
3.4 Исследование теплового воздействия пожара на боковую поверхность кабины	74
3.5 Тепловое воздействие пожара на две боковые поверхности кабины автомобиля	80

3.6	Тепловое воздействие пожара на лобовое стекло кабины	82
3.7	Методика оценки погрешности измерения параметров микроклимата	84
	Выводы по главе 3.....	87
Глава 4	Разработка технических решений по обеспечению безопасного микроклимата в кабине пожарного автомобиля	89
4.1	Использование систем вентиляции и кондиционирования для поддержания безопасного микроклимата в кабине	89
4.2	Водяное орошение кабины для защиты от теплового излучения....	91
4.3	Применение пассивной тепловой защиты для обеспечения безопасности спасателей в кабине автомобиля	92
4.3.1	Теплоизоляция элементов ограждения кабины.....	93
4.3.2	Применение теплоотражательных экранов.....	98
4.3.3	Экранирование в воздушной прослойке конструкций	101
4.3.4	Использование специального остекления	104
4.3.5	Применение комплексов теплозащитных средств	107
4.4	Оценка эффективности технических решений по тепловой защите кабин автомобилей.....	109
4.4.1	Определение величины суммарного теплового потока внутри кабины автомобиля	109
4.4.2	Определение границ теплоустойчивости кабин автомобилей.....	112
4.5	Рекомендации по оборудованию пожарных автомобилей средствами тепловой защиты.....	114
4.5.1	Монтаж комплекса теплозащитных средств №1	116
4.5.2	Монтаж комплекса теплозащитных средств №2.....	118
4.5.3	Монтаж экспресс-средства теплозащиты.....	121
4.6	Прогнозирование параметров микроклимата в кабине и пожарной безопасности автомобиля	122
	Выводы по главе 4.....	131
	Заключение	133
	Список литературы	137
	Приложения. Копии справок о внедрении результатов исследований	150

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы, степень ее разработанности.

Развитию технических средств по обеспечению комфортного (безопасного) микроклимата на рабочем месте в настоящее время уделяется большое внимание. Это обусловлено необходимостью повышения эффективности выполняемых работ, сохранения здоровья и жизни человека. Наиболее жесткие требования предъявляются к микроклимату на объектах с повышенным выделением тепла.

Одним из таких рабочих мест является кабина пожарного автомобиля, когда тушение открытого пожара производится непосредственно с автомобиля через стационарный лафетный ствол, установленный на крыше кабины. Этим достигается повышение эффективности тушения, увеличение скорости реагирования на изменение обстановки. Но при этом пожарные автомобили вынуждены работать на сравнительно небольших расстояниях от фронта пламени (10–60 м) и продолжительное время подвергаются мощному тепловому воздействию пожара. Такие условия их применения возникают при тушении верховых лесных пожаров, лесных складов, объектов нефтепереработки, нефтяных и газовых фонтанов, средств авиатранспорта. Значительное тепловое воздействие на автомобиль возможно также при движении по маршрутам ввода сил и средств формирований гражданской защиты (обороны).

Анализ эксплуатации пожарных автомобилей показывает, что иногда автомобили не удается установить на необходимое расстояние от фронта пламени, они получают значительные повреждения, а личный состав – травмы от тепловых воздействий.

В связи с тем, что управление автомобилем и лафетным стволом производится из кабины, эффективность и безопасность работы спасателей в первую очередь определяется микроклиматом в ней.

Исследованием микроклимата в кабине транспортных средств занимались многие авторы. Последствиям климатического воздействия на автомобиль

посвящены работы П.И. Коха, М.В. Михайлова, В.П. Хохрякова и многих других. Исследованиями условий эксплуатации пожарных автомобилей и вопросами защиты их от опасных факторов пожара занимались М.Д. Безбородько, Х.И. Исхаков, Ю.М. Кисляк, Ю.Ф. Яковенко. Способы и средства теплозащиты и огнезащиты стационарных объектов в металлургической промышленности подробно изучены А.Ф. Бабаловым, Л.А. Глушковым, С.В. Петровым; в строительстве – В.Н. Богословским, Н.Н. Брушлинским, М.Я. Ройтманом, А.Н. Сканами и другими.

Пожарные автомобили создаются на шасси серийных грузовых автомобилей. Кабина автомобиля рассчитывается на прочность, в ней стремятся обеспечить эргономические требования. Несмотря на существенные отличия в условиях работы пожарных автомобилей и автомобилей общего назначения, до настоящего времени исследованиям микроклимата в кабине уделяется недостаточно внимания, расчет и конструирование кабин пожарных автомобилей производится, как для кабин грузовых автомобилей.

Принятые в Украине и Российской Федерации государственные программы по пожарной безопасности, защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера одним из приоритетных направлений считают замену морально устаревших моделей пожарных автомобилей новыми современными разработками, с улучшенными характеристиками насосной установки, повышенной мощностью двигателя, увеличенным объемом цистерны и т.д. Однако дополнительные средства обеспечения безопасного микроклимата в кабине отсутствуют и на этих вновь разрабатываемых автомобилях.

В связи с вышеуказанным, научно-техническая задача обеспечения безопасного микроклимата в кабинах пожарных автомобилей при тушении крупных открытых пожаров остается актуальной. Это и обусловило выбор темы настоящей диссертации.

Связь работы с научными программами, планами, темами.

Работа проводилась в соответствии с планом работы Государственного научно-исследовательского института горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР на 2015–2016 годы по теме 11518067 «Разработать рекомендации по тепловой защите кабин пожарных автомобилей» при непосредственном участии автора в качестве ответственного исполнителя.

В работе использовались результаты экспериментальных исследований, проводимых в 1987–1990 годах в Высшей инженерной пожарно-технической школе (ВИПТШ МВД СССР) и Всесоюзном научно-исследовательском институте противопожарной обороны (ВНИИПО МВД СССР) в рамках темы 0.74.07 и 0.74.08 ГКНТ и ВЦСПС СССР «Спасательные и аварийные работы» при участии автора в части экспериментов в качестве исполнителя.

Цель и задачи исследований.

Цель работы – обоснование параметров средств тепловой защиты спасателей при тушении пожара путем раскрытия закономерностей нестационарных теплообменных процессов при воздействии открытого пожара на кабину пожарного автомобиля с учетом геометрических и теплофизических характеристик материалов ее ограждений.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ последствий теплового воздействия открытого пожара на пожарный автомобиль и спасателя в его кабине;
- выполнить теоретические исследования процесса нестационарного теплообмена окружающей среды с непрозрачными и светопрозрачными ограждениями кабины автомобиля;
- провести экспериментальные исследования процессов внешнего теплового воздействия на кабину автомобиля и определить границы применимости разработанной математической модели;
- исследовать влияние теплофизических свойств материалов ограждений на

эффективность защиты спасателей в кабине автомобиля от тепловых потоков открытого пожара, определить границы теплоустойчивости кабин автомобилей с различными средствами тепловой защиты;

- разработать методику прогнозирования параметров микроклимата в кабине и пожарной безопасности автомобиля.

Объект исследований – теплообменные процессы в замкнутой системе, в которой параметры теплообмена окружающей среды с отдельными элементами конструкции взаимосвязаны.

Предмет исследований – параметры микроклимата внутри кабины автомобиля при тушении спасателями открытого пожара в зависимости от конструктивных параметров и физических свойств теплозащитных материалов.

Методология и методы исследования. При выполнении диссертационной работы использовался комплексный подход, содержащий: анализ и обобщение научных результатов, ранее полученных другими авторами; математическое моделирование и численное исследование теплообменных процессов при внешнем тепловом воздействии на автомобиль; стендовые и полномасштабные полигонные исследования параметров микроклимата в кабине с последующей математической обработкой результатов экспериментов.

Научная новизна полученных результатов:

1. Впервые установлены закономерности нестационарного теплообмена открытого пожара с конструкциями кабины автомобиля, учитывающие наличие в ограждениях воздушных прослоек и светопрозрачных элементов. При этом установлено, что при воздействии теплового потока температура стекла кабины (за счет объемного характера теплопоглощения) превышает температуру металлических стенок на 12 %. Кроме того, остекление пропускает до 32 % теплового излучения пожара внутрь кабины. В ограждениях с воздушными прослойками основная доля теплопередачи осуществляется излучением, поэтому при тепловых потоках более $2,5 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ температура внутренней поверхности обогреваемой стенки с воздушной прослойкой превышает температуру сплошной

стенки на 35 % и более.

2. Обоснована возможность с достаточной степенью точности проводить исследование эффективности средств тепловой защиты путем математического моделирования. Расхождение результатов натуральных экспериментов с численными решениями составляет 17 % – для стенок кабины и 22 % – для остекления.

3. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность применения средств пассивной тепловой защиты кабины пожарного автомобиля. Установлено, что при использовании теплозащитных средств снижение температуры стенок кабины может достигать 70 %, температуры остекления – 49 %. При этом достигается снижение температуры воздуха в кабине на 45 %, а суммарного теплового потока внутри кабины на 76 %.

4. Уточнены пределы теплоустойчивости кабин с различными средствами тепловой защиты. Применение комплексов теплозащитных средств позволяет при тушении открытого пожара увеличить время безопасной работы спасателей в кабине автомобиля на 50–75 %, либо уменьшить расстояние от работающего автомобиля до фронта пламени в 1,5–2 раза.

5. Получил дальнейшее развитие метод прогнозирования предельных параметров микроклимата в кабине автомобиля за счет использования параметров, характеризующих динамику скорости нарастания температуры в кабине. Это позволяет на более ранних стадиях определять время безопасного нахождения спасателей в кабине автомобиля. Так при интенсивности теплового потока более $14 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ с помощью разработанного метода возможно прогнозирование микроклимата в кабине за 60 с до момента его наступления, а ранее результат можно было получить только спустя 30 с после наступления предельного состояния.

Теоретическая и практическая значимость работы:

– математические зависимости, характеризующие процесс теплообмена открытого пожара с ограждающими конструкциями кабины автомобиля, являются научно-методической основой для обоснования параметров и выбора

средств тепловой защиты, а также разработки графоаналитического метода прогнозирования предельных параметров микроклимата в кабине автомобиля;

– предложены конструктивные решения применения комплексов недорогих и достаточно эффективных средств пассивной тепловой защиты кабин автомобилей с целью обеспечения безопасности работы спасателей в них;

– разработаны «Рекомендации по оборудованию автомобилей пожарно-спасательных подразделений средствами противотепловой защиты», которые внедрены в деятельность Государственного учреждения «ДонбассПожтехника» (г. Зугрес).

Положения, выносимые на защиту:

- частные методики экспериментального определения величин составляющих общего теплового баланса кабины автомобиля;

- сопряженная задача нестационарного теплообмена окружающей среды с геометрически замкнутой системой, в которой параметры теплообмена отдельных элементов взаимосвязаны;

- методика и результаты экспериментальных исследований процесса теплового воздействия открытого пожара на кабину пожарного автомобиля;

- результаты теоретических и экспериментальных исследований по оценке эффективности способов и технических средств пассивной тепловой защиты кабин автомобилей;

- способ прогнозирования предельных параметров микроклимата в кабине автомобиля.

Обоснованность и достоверность положений, выводов и рекомендаций подтверждается:

- корректным использованием основных положений теории нестационарных теплообменных процессов, методов математического анализа;

- достаточной для инженерных расчетов сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований;

- использованием при экспериментальных исследованиях современной

контрольно-измерительной аппаратуры, обеспечивающей погрешность измерения не выше, чем допускается для задач, рассматриваемых в работе.

Апробация результатов диссертации.

Основные результаты диссертационной работы были представлены в виде докладов и получили одобрение на Международной научно-практической конференции «Проблемы пожарной безопасности» (Киев, Украина, июнь 1995); VIII Международной научно-практической конференции «Перспективы развития научных исследований в 21 веке» (Махачкала, Россия, июнь 2015); XLVIII-XLIX Международной научно-практической конференции «Технические науки – от теории к практике» (Новосибирск, Россия, август 2015); 11 Международной научной конференции «Европейская наука и технологии» (Мюнхен, Германия, октябрь 2015); III Международной научно-практической конференции «Технические науки: современные проблемы и перспективы развития» (Шеффилд, Великобритания, ноябрь 2015).

Публикации.

Материалы диссертации опубликованы в виде 10 статей в научных изданиях Украины, Австрии, США, Республики Казахстан, Республики Беларусь, Донецкой Народной Республики, из которых 2 входят в «Перечень рецензируемых научных журналов и изданий...» МОН Украины, 4 включены в наукометрическую базу РИНЦ. Результаты исследований опубликованы в сборниках докладов 5 международных научно-практических конференций России, Германии, Великобритании, Украины, из которых 3 включены в базу РИНЦ. Программа определения параметров теплообмена замкнутых систем с окружающей средой была зарегистрирована в Государственном фонде алгоритмов и программ СССР. По результатам работы в Германии издана научно-популярная книга.

ГЛАВА 1

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

При создании пожарных автомобилей конструкция кабины грузового автомобиля, на базе которого пожарный автомобиль создается, значительным изменениям не подвергается. При этом защита от воздействия внешней среды сводится к предохранению водителя и членов боевого расчета (далее – **спасателей**) от перегрева, переохлаждения, воздействия солнечной радиации и атмосферных осадков.

Вместе с тем условия работы пожарных автомобилей существенно отличаются от условий работы автомобилей народнохозяйственного назначения. Это отличие обусловлено возможным воздействием на кабину и салон боевого расчета (далее – **кабину**) опасных факторов пожара. Это воздействие неизбежно приводит к изменению микроклиматических условий в ней.

Изменение условий работы спасателей в кабине пожарного автомобиля при работе вблизи фронта пламени впервые было рассмотрено М.Д. Безбородько еще в 1967 году [15], но до сих пор достаточно полно никем не исследовано. Однако нагревание кабины от воздействия открытого пожара может привести к самым серьезным последствиям, вплоть до угрозы здоровью и жизни спасателей и выхода пожарного автомобиля из строя.

Таким образом, при разработке тепловой защиты пожарного автомобиля необходимо решить вопрос: какие условия должны быть обеспечены в кабине автомобиля для работы спасателей, и каким образом их обеспечить? Очевидно, что в данном случае безопасные микроклиматические условия будут определяться предельно допустимыми для человека температурами воздуха и поверхностей ограждений, загазованностью воздуха, интенсивностью теплового излучения внутри кабины и т.д.

Сложность поставленной задачи связана с большим числом входящих параметров, влияющих на состояние микроклимата в кабине автомобиля. В

работе использован системный подход, позволяющий анализировать подобные задачи наиболее эффективно [5,75].

1.1. Система «Окружающая среда – Объект воздействия – Пожарный автомобиль – Спасатель»

Системный подход позволяет комплексно рассмотреть объект исследования во всем многообразии связей, определяющих эффективность работы рассматриваемой системы [92].

Кабина пожарного автомобиля рассматривается как подсистема в системе «Окружающая среда – Объект воздействия – Пожарный автомобиль – Спасатель» (Рисунок 1.1) [30,80].



Рисунок 1.1. Структурные связи системы «Окружающая среда – Объект воздействия – Пожарный автомобиль – Спасатель»

Окружающая среда воздействует на пожарный автомобиль, в конструкции которого имеется кабина со спасателем (водителем). Следует отметить, что один из действующих на автомобиль факторов окружающей среды (климатические условия) является практически постоянным, а другой (опасные факторы пожара) может носить случайный характер, определяемый поставленной тактической задачей. Окружающая среда воздействует также и на объект воздействия автомобиля (в данном случае – объект пожара), в одних случаях помогая тушить пожар, в других – затрудняя.

Выполняют поставленную задачу спасатели, которые располагаются в кабине автомобиля, вследствие чего должна быть обеспечена его безопасность и относительная комфортность. Это достигается использованием определенных мер, которые выбираются в зависимости от внешних условий и приспособленности пожарного автомобиля к этим условиям. Таким образом, сама возможность выполнения поставленной задачи автомобилем имеет структурные связи с подсистемами «Окружающая среда – Пожарный автомобиль», «Окружающая среда – Спасатель», «Объект воздействия – Пожарный автомобиль» и «Пожарный автомобиль – Спасатель». Выбор способов обеспечения безопасности спасателей в кабинах пожарных автомобилей необходимо вести на основе исследования связей указанных подсистем, так как от них, в конечном счете, зависят выходные параметры всей системы.

В свою очередь, на указанные связи перечисленных подсистем накладываются определенные ограничения, так как средства обеспечения безопасного микроклимата в кабине автомобиля имеют ограниченные возможности.

Климатические факторы окружающей среды воздействуют на автомобиль как непосредственно, так и косвенно – через спасателя (водителя), им управляющего, а также через объект воздействия пожарного автомобиля.

Оценка влияния различных климатических факторов окружающей среды на спасателя, пожарный автомобиль и объект воздействия свидетельствует, что это

влияние весьма различно (таблица 1.1) [38].

Таблица 1.1

Характеристика воздействия окружающей среды на элементы подсистемы
«Объект воздействия – Пожарный автомобиль – Спасатель»

Факторы внешней среды	Объект воздействия	Пожарный автомобиль	Спасатель
Солнечная радиация	Слабое	Сильное	Умеренное
Низкая температура	Умеренное	Значительное	Сильное
Высокая температура	Умеренное	Сильное	Сильное
Осадки	Сильное	Сильное	Слабое
Высокая влажность	Сильное	Сильное	Значительное
Низкая влажность	Умеренное	Значительное	Слабое
Ветер	Сильное	Умеренное	Сильное
Тепловое излучение пожара	Сильное	Значительное	Сильное

На основании выполненного системного анализа в работе рассматривается влияние внешних климатических условий и опасных факторов пожара на кабину пожарного автомобиля, способы и технические средства обеспечения безопасной работы спасателей.

1.2. Анализ влияния тепловых факторов окружающей среды на подсистему «Пожарный автомобиль – Спасатель»

Эксплуатация пожарных автомобилей, как и других автомобилей специального назначения, связана с необходимостью их длительного нахождения на открытых пространствах при температурах окружающего воздуха от -55°C до $+70^{\circ}\text{C}$ (в различных регионах стран СНГ). Это ставит автомобили в условия активного и, как правило, весьма неблагоприятного воздействия внешних факторов окружающей среды, к которым вблизи фронта пламени добавляются и опасные факторы пожара (рисунок 1.2) [76,86,101,106].

Эти факторы оказывают значительное влияние на эксплуатационные характеристики и надежность пожарного автомобиля, а в некоторых случаях приводят к невозможности его эксплуатации и даже к выходу автомобиля из

строю.

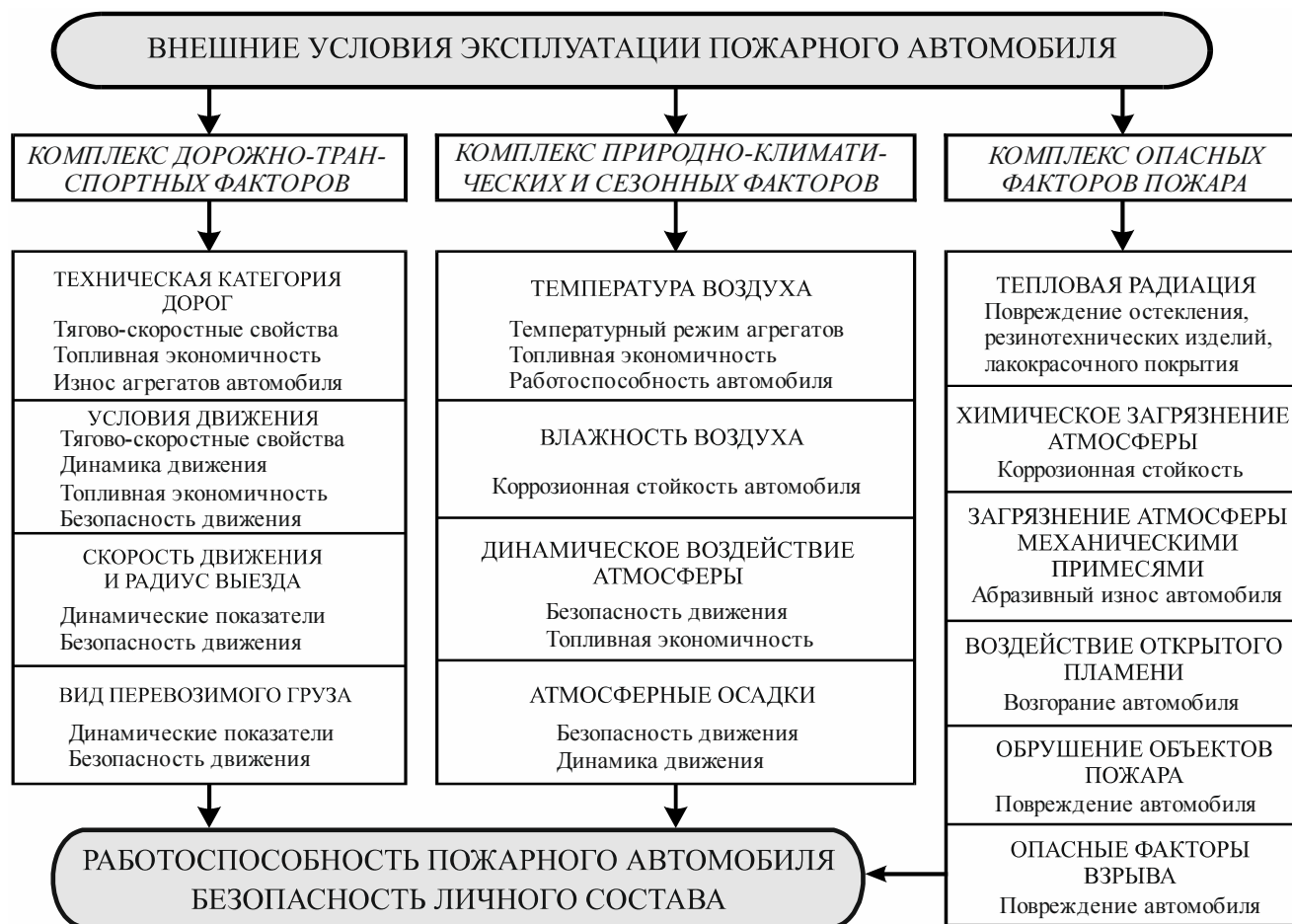


Рисунок 1.2. Взаимосвязь условий окружающей среды и эксплуатационных показателей пожарного автомобиля

Характер и степень климатического воздействия на автомобиль зависит, в первую очередь, от климатической зоны, в которой он эксплуатируется [36,81]. Воздействие же опасных факторов пожара не зависит от нее и целиком определяется условиями работы пожарного автомобиля вблизи места пожара.

В районах с холодным климатом основными неблагоприятными факторами окружающей среды являются низкие температуры воздуха и сильный ветер.

Особенностями эксплуатации автомобилей в этих условиях занимались П.И. Кох [38,39], Л.Г. Резник [75,76], Н.В. Семенов [78] Х.И. Исхаков [34] и многие другие [25,53,77,86].

На формирование микроклимата в условиях холодного климата большое

влияние оказывают конструктивные особенности кабины и мощность отопительных приборов, так как нарушение теплового режима в первую очередь влияет на здоровье водителя.

Нормами требуется, чтобы кабины автомобилей, эксплуатируемых в условиях холодного климата, имели специальное утепление [38,39,75]. В случае применения системы отопления, использующей тепло двигателя, она должна обеспечивать перепад между средней температурой воздуха внутри кабины и температурой наружного воздуха не менее 40 °С, а при включении на полную мощность (при температуре наружного воздуха –60 °С) – перепад не менее 70 °С. При этом неравномерность температур воздуха в различных точках кабины не должна превышать 10 °С, а минимальная температура воздуха должна быть не ниже +5 °С [39]. В автомобилях специального назначения (например, пожарных) целесообразна установка автономного отопителя. Режим работы такой установки не должен зависеть от режима работы двигателя автомобиля. Во всех случаях система отопления должна обеспечивать достаточно легкую регулировку температуры в кабине.

В районах с жарким климатом основными неблагоприятными факторами окружающей среды являются высокие температуры и повышенная солнечная радиация.

Вопросами поддержания комфортного микроклимата в кабинах автомобилей в этих условиях занимались П.И. Кох [38], М.В. Михайлов [47], В.П. Хохряков [97], Ю.Ф. Яковенко [106] и др.

Температура окружающего воздуха от +25 °С до +45 °С (в некоторых южных районах СНГ даже до +75 °С), способствует тому, что отдельные узлы автомобиля нагреваются до +85 °С и выше, а температура воздуха в кабине достигает +45–+55 °С даже при работе системы вентиляции [38].

Длительная и интенсивная работа в этих условиях может не только повлиять на ее эффективность, но и вызвать болезненное состояние организма, иногда потерю сознания. Поэтому работа в кабине автомобиля, не

оборудованного устройствами, снижающими вредное воздействие факторов жаркого климата на организм, вызывает быструю утомляемость водителя, что снижает безопасность работы и общую надежность машины.

Создание комфортных микроклиматических условий для человека, управляющего машиной в условиях жаркого климата, технически более сложно по сравнению с созданием таких же условий для человека в условиях холодного климата. Методы их обеспечения условно могут быть разделены на активные и пассивные. К первому относятся все технические методы создания комфортных микроклиматических условий в рабочей зоне водителя, а ко второму - остановка машины в дневное время, когда действие неблагоприятных климатических факторов наибольшее [38].

Общее количество теплоты, поступающее в кабину автомобиля, складывается из теплоты, выделяемой агрегатами машины и самим водителем; теплоты, поступающей от солнечной радиации, в том числе отраженной, проникающей в кабину через остекление; теплоты, поступающей от стенок, потолка и пола кабины, нагретых в результате воздействия солнечной радиации; теплоты, поступающей от стенок, потолка и пола кабины, нагреваемых наружным воздухом; теплоты, поступающей в кабину вместе с нагретым воздухом [47,97].

Количество теплоты солнечных лучей, поступающей через остекление кабины, может быть снижено уменьшением площади остекления до размеров, необходимых только для обзора водителем рабочей зоны (что противоречит одному из эргономических требований – увеличивать площадь остекления); применением двойного остекления, теплоизоляционных и теплоотражающих стекол; установкой солнцезащитных козырьков и подвижных экранов, не уменьшающих зону обзора [47].

Уменьшение количества теплоты, поступающей от работающих агрегатов машины, достигается выносом агрегатов возможно дальше от кабины и теплоизоляцией стенок кабины.

Снижение количества теплоты, поступающей через стенки, потолок и пол

кабины, достигается изготовлением этих элементов из теплоизоляционных материалов или покрытием их теплоизоляционными материалами; окраской наружных поверхностей в светлые цвета; установкой на наружных поверхностях ограждений солнцезащитных экранов [37,47,97].

В зонах, непосредственно примыкающих к фронту пожара, условия использования пожарных автомобилей характеризуются воздействиями на них лучистых и конвективных тепловых потоков пожара; задымленности, повышенной температуры, загазованности и токсичности окружающей среды. Также на пожарный автомобиль могут воздействовать элементы разрушающихся конструкций, выбросы нефтепродуктов и газов, взрывы и т.п.

Вблизи фронта пламени наибольшую опасность представляет воздействие теплового излучения, на долю которого приходится более 75 % от всей выделяющейся при горении теплоты [13].

Количество теплоты, передаваемое пламенем, зависит от температуры последнего (вида и количества горючего материала) и взаимного расположения объектов (расстояния до фронта пламени) [6,41,84,110]. По данным М.Д. Безбородько и Х.И. Исхакова на реальных пожарах тепловые потоки могут достигать величин 40–45 кВт·м⁻² (рисунок 1.3, рисунок 1.4) [30,32,67].

Тепловое воздействие пожара в первую очередь приводит к нагреву наружных поверхностей автомобиля. Наружные поверхности боковых стенок при тепловых потоках 7–25 кВт·м⁻² нагреваются до 200–400 °С. Внутренние поверхности стенок нагреваются до 80–220 °С. Плотность теплового излучения, проникающего через остекление кабины, достигает 10–15 кВт·м⁻². В результате чрезмерного нагрева склеиваются пожарные рукава в отсеках, плавятся и воспламеняются шины, разрушаются аккумуляторы, вследствие температурной деформации заклинивают двери кабины и крышки отсеков, лопаются фары, разрушается остекление кабины, могут воспламеняться горюче-смазочные материалы и топливо. Чрезмерный нагрев материалов интерьера кабины приводит к их термическому разложению и выделению токсичных веществ [67].

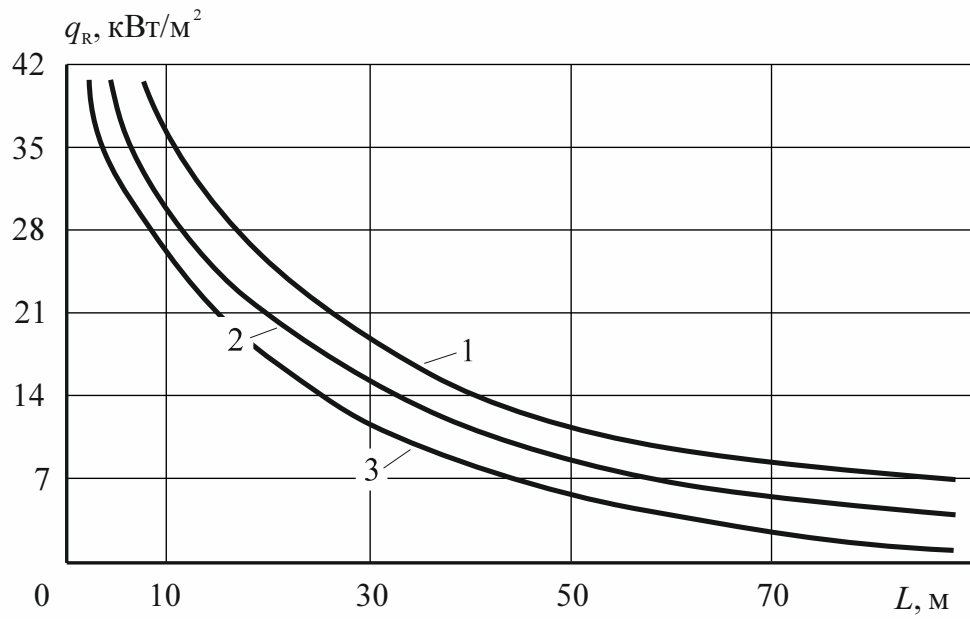


Рисунок 1.3. Зависимость интенсивности теплового излучения от расстояния до штабелей древесины: 1 – высота штабелей $H=12$ м; 2 – высота $H=10$ м; 3 – высота $H=6$ м

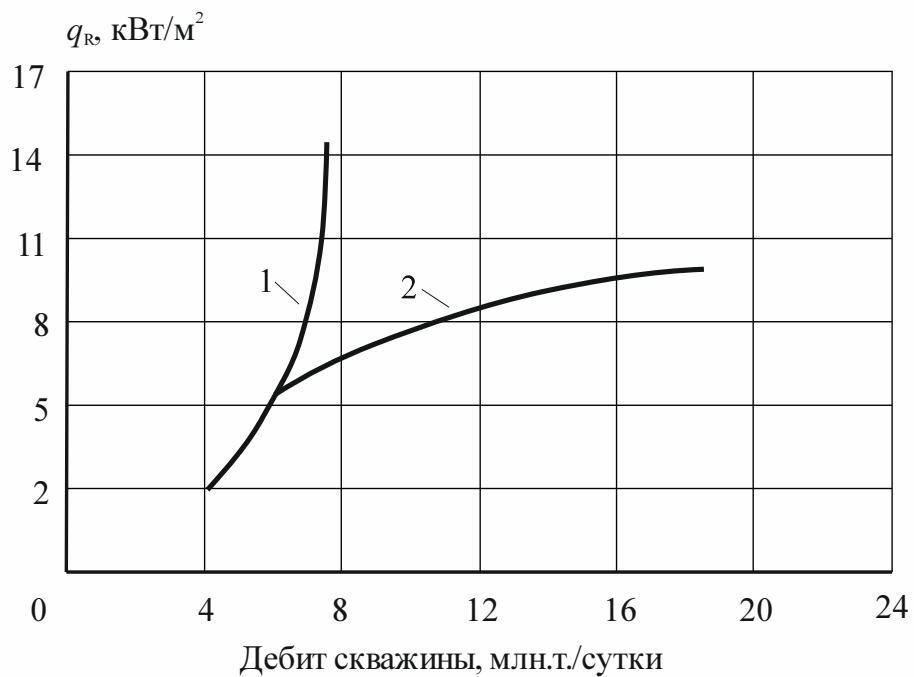


Рисунок 1.4. Зависимость плотности теплового потока от дебита скважины нефтяного фонтана: 1 – распыленный фонтан на расстоянии 20 м; 2 – компактный фонтан на расстоянии 15 м

Таким образом, тепловое воздействие пожара на пожарный автомобиль может привести к следующим последствиям:

а) температура внутренних поверхностей и воздуха в кабине достигнет предельных значений с физиологической точки зрения;

б) плотность теплового потока, проникающего через остекление кабины, превысит допустимые для человека границы;

в) содержание дыма и токсичных веществ в воздухе кабины превысит предельно допустимые концентрации;

г) в результате воздействия мощных тепловых потоков произойдет воспламенение горючих конструкций;

д) в результате взрыва или обрушения произойдет повреждение конструкции автомобиля.

И, наконец, наиболее вероятно совместное воздействие всех или некоторых из вышеперечисленных факторов.

Воздействие опасных факторов пожара характеризуется непостоянностью и сложностью прогнозирования, однако они могут стать причиной невыполнения поставленных тактических задач, получения автомобилем серьезных повреждений и травмирования спасателей. Следует учесть также, что тепловое воздействие пожара на автомобиль не исключает также и воздействия климатических факторов. Конструкция же кабины пожарного автомобиля изготавливается только с учетом воздействия последних.

1.3. Средства обеспечения микроклимата в кабине автомобиля

Оценке влияния внешних факторов на микроклимат рабочего места посвящено большое количество работ. Исследованием надежности систем автомобиля в различных климатических зонах занимался П.И. Кох [38,39], оценке комфортности и средствам обеспечения микроклимата в кабинах автомобилей посвящены работы М.В. Михайлова [47], В.П. Хохрякова [97], обеспечением благоприятных условий труда в металлургических цехах занимались

А.Ф. Бабалов [13], Л.А. Глушков [20], С.В. Петров [60], поддержанию комфортного микроклимата в жилых, общественных и производственных зданиях посвящены работы В.Н. Богословского, А.Н. Сканави, М.Я. Ройтмана, Б.Б. Грушевского, Н.Н. Брушлинского и многих других.

Одним из основных требований при проектировании и изготовлении кабины грузового автомобиля является требование обеспечения в ней комфортного микроклимата, для пожарного автомобиля – безопасного микроклимата.

Микроклимат в кабине автомобиля необходимо оценивать с точки зрения возможного специфического воздействия на водителя и членов экипажа, так как от этого во многом зависит их работоспособность и безопасность.

Для поддержания в кабине автомобиля комфортного микроклимата решаются три основные задачи:

- утепление (теплоизоляция) ограждающих конструкций кабины;
- устройство систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха;
- обеспыливание и очистка от газообразных примесей воздуха, поступающего в кабину.

Рассмотрим подробно первые две задачи, так как подобные задачи необходимо решать для защиты пожарного автомобиля от тепловых потоков пожара.

Пожарные автомобили изготавливаются на базе серийных грузовых автомобилей. Поэтому пожарные автомобили, созданные на базе автомобиля одной марки, отличаются лишь размерами кабин (рисунок 1.5) и материалами теплоизоляции в зависимости от исполнения (обычного или северного).

В этом отношении пожарные автомобили новых моделей ничем не отличаются от автомобилей устаревших моделей [54,62,88,103,105].

Основная задача поддержания комфортного (безопасного) микроклимата в кабине – это максимально возможное уменьшение поступления теплоты через ограждения.

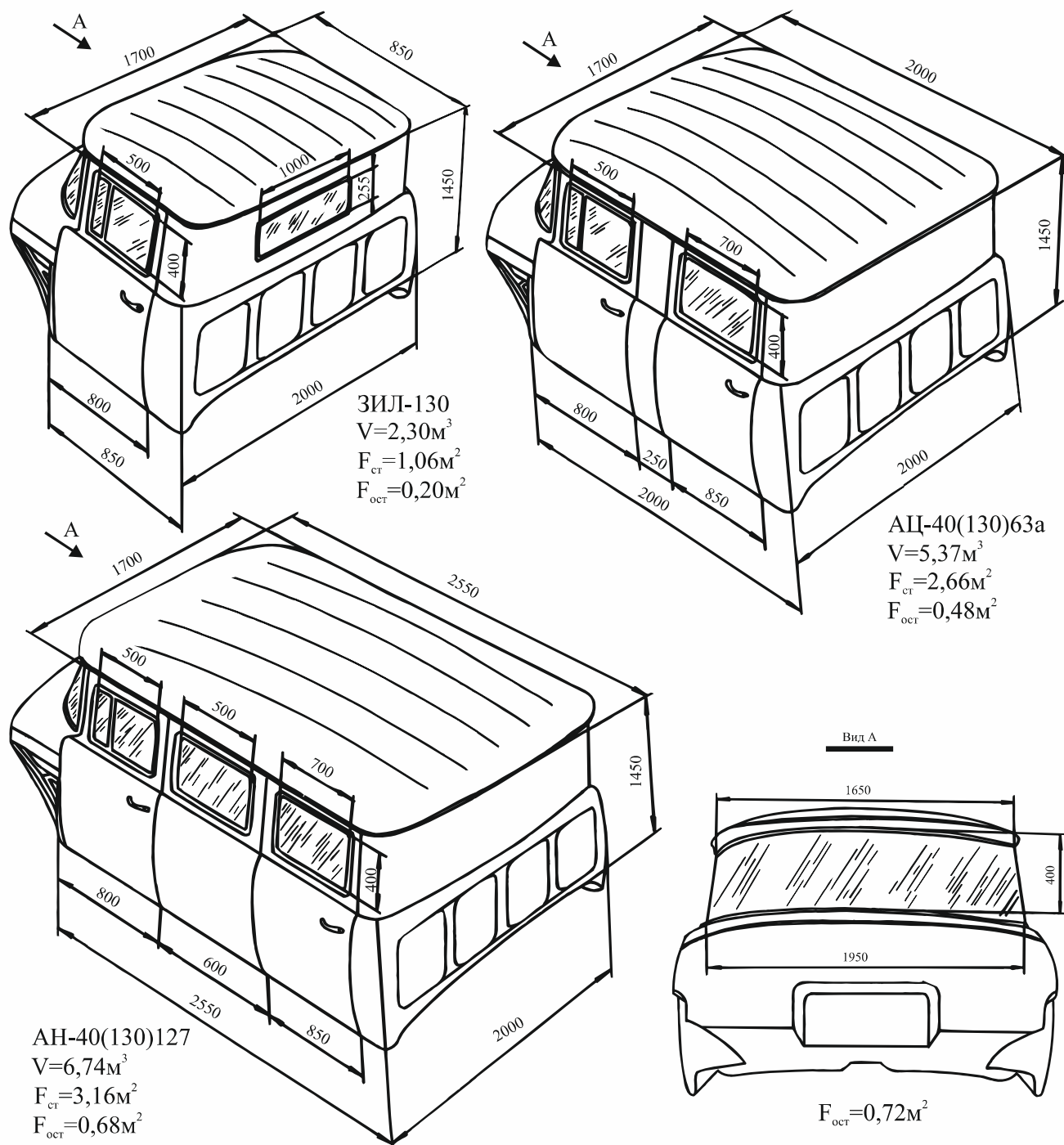


Рисунок 1.5. Кабины грузового автомобиля ЗИЛ-130 и основных пожарных автомобилей на его шасси

Ограждения кабин состоят из конструктивного несущего слоя, из теплоизоляционного слоя, внешнего и внутреннего фактурных слоев. Слой теплоизоляции и внутренний фактурный слой обычно выполняют также функцию защиты водителя и экипажа автомобиля от шума. Наружный фактурный слой

обычно представляет собой слой лакокрасочного покрытия.

Количество теплоты, передаваемое через стенки, зависит от теплофизических свойств материала ограждения, толщины каждого слоя (особенно теплоизоляционного) и условий теплообмена на наружной и внутренней поверхностях ограждения, причем условия теплообмена конструкций с окружающей средой предусмотреть практически невозможно. Следовательно, основное внимание следует уделять именно свойствам материалов ограждений.

Особенностью конструктивных элементов кабины является то, что все элементы являются многослойными, поэтому теплофизические свойства элемента отличаются от свойств материалов, его составляющих. Причем в теле ограждений возможны также замкнутые (невентилируемые) и сообщающиеся с наружным воздухом или воздухом внутри кабины (вентилируемые) воздушные прослойки. Характер теплопередачи через такой элемент существенно меняется, и однозначно определить его свойства не представляется возможным.

Для примера в таблице 1.2 приведены геометрические и теплофизические характеристики двери кабины автомобиля ЗИЛ-130. Здесь и в других таблицах и на рисунках ЛКП – лакокрасочное покрытие стенки.

Таблица 1.2

Геометрические и теплофизические характеристики двери ЗИЛ-130

Схема и материал элемента ограждения		$F, \text{ м}^2$	$\delta \cdot 10^3, \text{ м}$		$\rho_{э}, \text{ кг} \cdot \text{ м}^{-3}$	$c_{pэ}, \text{ Дж} \cdot \text{ кг}^{-1} \cdot \text{ К}^{-1}$	$\lambda_{э}, \text{ Вт} \cdot \text{ м}^{-1} \cdot \text{ К}^{-1}$			
			δ_i	$\delta_э$						
боковая дверь 	ЛКП	0,851	0,3	1,4	5971	580	35,94			
	сталь		1,0							
	ЛКП		0,1							
	воздух		100,0	<i>Объем возд. прослойки 0,0851 м³</i>						
	ЛКП		0,1	1,2				6733	520	41,88
	сталь		1,0							
	ЛКП		0,1							
остекление двери 	закал. стекло	0,2	5,0	5,0	2500	670	0,74			

Основное различие в характере теплоступлений в кабину определяется видом ограждения (прозрачное или непрозрачное). Связано это с тем, что прозрачное ограждение пропускает часть потока теплового излучения внутрь кабины, что вызывает дополнительный нагрев интерьера.

Причем прозрачными ограждения названы условно. Коэффициент светопропускания стекла зависит от вида стекла и длины волны падающего на него излучения, в соответствии с законом смещения Вина – от температуры источника излучения (рисунок 1.6) [13,30,72].

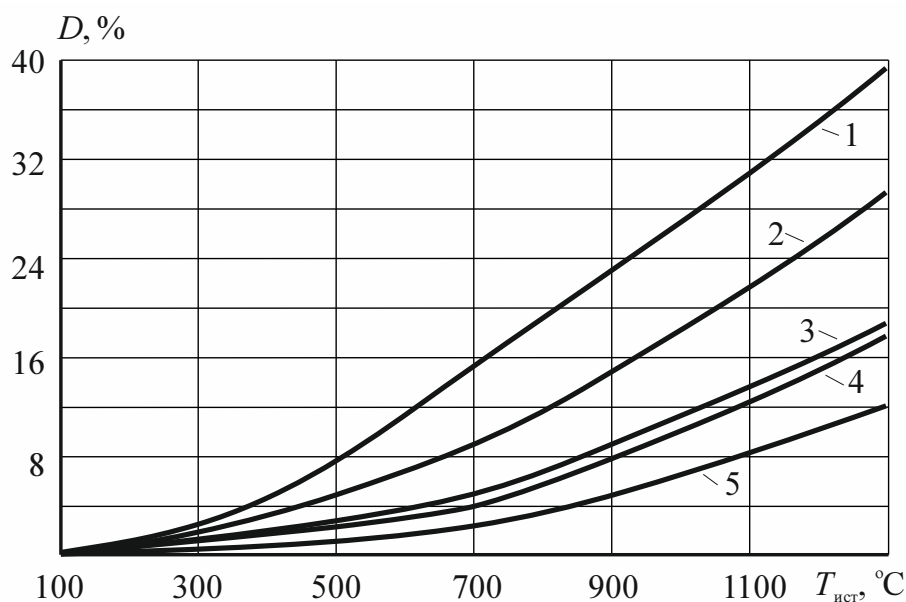


Рисунок 1.6. Зависимость интегрального коэффициента пропускания излучения D различным остеклением от температуры источника излучения: 1 – закаленное автомобильное стекло (сталинит) $\delta = 5$ мм; 2 – стекло с окисно-оловянно-сурьмяной пленкой $\delta_{пл} = 0,1$ мкм; 3 – стекло с окисно-оловянно-сурьмяной пленкой $\delta_{пл} = 1,0$ мкм; 4 – органическое стекло $\delta = 5$ мм; 5 – двухрядное остекление: сталинит $\delta = 5$ мм + оргстекло $\delta = 5$ мм

Для уменьшения теплоступлений через остекление применяются специальные стекла: теплопоглощающие, теплоотражающие и фотохромные. Теплопоглощающие стекла окрашены в массу добавками окислов металлов или

фосфатов. Этим достигается высокая эффективность защиты от теплового излучения. Так, например, при облученности $7 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ органическое стекло толщиной $\delta = 5 \text{ мм}$ пропускает $1 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$, а синее органическое стекло такой же толщины – всего $0,42 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ при прозрачности соответственно 96 % и 90 % [13]. Теплоотражающие стекла получают в результате нанесения на них пленочных покрытий. При установке таких стекол учитывается, что если температура воздуха в кабине выше наружной, то установка стекла пленкой внутрь кабины снижает температуру воздуха. Наоборот, если температура в кабине ниже наружной, стекло устанавливается пленкой наружу. Фотохромные стекла, sensibilizированные введением в их состав серебра, темнеют под действием света, но весьма дорогие, и поэтому в автомобильной промышленности практически не применяются.

Иногда применяется двойное остекление кабины с теплозащитным и обычным стеклом, причем теплозащитный эффект выше в случае установки теплозащитного стекла снаружи.

Одним увеличением эффективности теплозащиты элементов ограждения добиться требуемого микроклимата в кабине невозможно. Связано это с тем, что при работе автомобиля происходит выделение теплоты в кабине от приборов и оборудования, от водителя и членов экипажа, поступление теплоты от двигателя и с наружным нагретым воздухом. Не менее важное значение, чем температура, имеет и влажность окружающего воздуха. Причем требования к соотношению температуры и влажности воздуха в рабочей зоне достаточно жесткие [18,19,47,99,101]. Отсюда вытекает необходимость поддержания их на определенном уровне. Для этой цели в автомобиле предусмотрены системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Система отопления применяется для поддержания комфортного микроклимата в холодный период года. Отопителями кабины оборудуются все автомобили, за исключением тех, которые предназначены для работы в районах с жарким климатом.

По принципу работы автомобильные отопители можно разделить на использующие тепло основного двигателя машины, работа которых возможна только при работе этого двигателя, и автономные. Наибольшее распространение получили отопители первого типа [2,3,46]. Основное преимущество этих отопителей – высокая экономичность, т.к. используются тепловые отходы (современные карбюраторные и дизельные двигатели отдают в окружающую среду через систему охлаждения соответственно 25 % и 21 %, а с выхлопными газами соответственно 39 % и 34 % теплоты, заключенной в используемом топливе). Автономные отопители используются обычно не только для обогрева кабины, но и для предпускового подогрева двигателя.

Следует отметить, что задача защиты пожарного автомобиля от тепловых потоков пожара противоположна задаче системы отопления, однако для обеспечения безопасного микроклимата в кабине при эксплуатации автомобиля следует решать обе этих задачи.

Система вентиляции кабины может быть как совмещенная с системой отопления, так и самостоятельная. Например, для вентиляции кабины автомобилей семейства ЗИЛ устроены два вентиляционных канала в брызговиках крыльев [2,3]. Через один из вентиляционных каналов, кроме того, наружный воздух поступает к отопителю кабины.

Для обеспечения комфортного микроклимата широкое применение получили кондиционеры. По принципу действия кондиционеры можно разделить на хладоновые или парокомпрессионные, с воздушной холодильной машиной, термоэлектрические и испарительные.

Наибольшее распространение получили хладоновые кондиционеры, как обладающие наибольшей холодопроизводительностью [97]. Недостаток их – значительная масса и объем (на 1000 Вт холодопроизводительности масса составляет примерно 10 кг, объем – около 0,05 м³, мощность – 1,2 кВт. [47]).

В сельскохозяйственной технике широкое распространение получили кондиционеры испарительного охлаждения, как наиболее простые и не

требующие высокой квалификации при обслуживании и ремонте. Вместе с тем они весят в 4 раза меньше хладоновых, потребляют энергии в 4–5 раз меньше и стоят в 6–20 раз дешевле хладоновых кондиционеров той же холодопроизводительности.

В связи с тем, что при создании пожарного автомобиля объем кабины значительно возрастает (объем кабины автомобиля ЗИЛ-130 составляет $2,3 \text{ м}^3$, АЦ-40(130)63а – уже $5,37 \text{ м}^3$, а АН-40(130)127 – $6,74 \text{ м}^3$), система отопления базового шасси не в силах поддерживать комфортную температуру в салоне. Поэтому для поддержания нужной температуры в кабинах пожарных автомобилей применяются специальные средства.

Основным таким средством является автономная отопительная установка О-15 (О-30) тепловой мощностью $2,0 \text{ кВт}$ ($3,5 \text{ кВт}$), устанавливаемая под сиденьем салона боевого расчета пожарного автомобиля северного исполнения [55]. Установка обеспечивает подачу в кабину $75 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$ ($120 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$) нагретого до $80 \text{ }^\circ\text{C}$ воздуха.

Пожарная автоцистерна северного исполнения АЦС-40(131С)153а кроме автономного отопителя имеет дополнительное утепление ограждающих конструкций кабины слоем войлока толщиной 15 мм (пола и задней стенки – пенополиуретаном толщиной 15 мм), остекление кабины сделано двойным с воздушной прослойкой толщиной 35 мм .

Кроме того, автоцистерна имеет утепленную слоем войлока цистерну для воды и подогрев воды в ней выхлопными газами двигателя.

Пожарные аэродромные автомобили, вынужденные длительное время находиться на безгаражных стоянках, оборудованы электрообогревом кабины боевого расчета, цистерны для воды, воды и масла двигателя автомобиля. Автомобиль АА-40(131)139 имеет электрические подогреватели мощностью 1 кВт для обогрева кабины и насосного отделения и 10 кВт – для подогрева воды в цистерне. Подогреватели питаются от внешней электрической сети напряжением $380/220 \text{ В}$. Управление системой электрообогрева производится с

пульты в кабине автоцистерны.

Другой автомобиль аэродромной службы АА-60(7310)160.01 для питания системы электрообогрева имеет собственный электрический генератор с приводом от главного двигателя.

При стационарной работе пожарного автомобиля в жаркий период происходит перегрев двигателя, что, во-первых, снижает его надежность, во-вторых, через систему вентиляции вызывает повышение температуры воздуха в кабине. Для предотвращения этого все пожарные автомобили, имеющие насос (основные пожарные автомобили), оборудуются дополнительной системой охлаждения двигателя [21].

Такая система дополнительного охлаждения обеспечивает непрерывную работу неподвижного автомобиля с пожарным насосом в течение 6 часов при температуре окружающего воздуха до +35 °С без перегрева двигателя и при сохранении комфортных условий в кабине пожарного автомобиля. В системе предусмотрен патрубок с краном для присоединения устройств водяного орошения агрегатов автомобиля.

С задачей обеспечения безопасного микроклимата в кабине тесно связана проблема обеспечения пожарной безопасности автомобиля на пожаре. Связано это с тем, что при достаточно больших уровнях теплового потока может происходить воспламенение (самовоспламенение) горючих конструкций ограждения кабины и интерьера. Причем обеспечение пожарной безопасности автомобилей представляет гораздо более сложную задачу по сравнению с обеспечением ее в зданиях и сооружениях [96,117].

Исследованием пожарной безопасности автотранспортных средств и способами ее обеспечения длительное время занимался Х.И. Исхаков [32,33] и многие другие авторы.

Согласно ГОСТ 12.1.004 пожарная безопасность объекта обеспечивается двумя составными частями: системой предотвращения пожара и системой противопожарной защиты [65]. Соответственно, защита автомобилей от пожаров

производится по следующим направлениям:

1) Снижение пожарной нагрузки автомобиля – достигается заменой горючих материалов конструкций и отделки негорючими или трудногорючими на стадии проектирования и изготовления автомобилей [45,68,90].

2) Исключение возможных источников зажигания – предотвращение аварийных режимов работы электрооборудования автомобиля, теплоизоляция раскаленных поверхностей двигателя и т.п. [29,33,112,113].

3) Использование мер по ограничению распространения пожара – применение материалов с высокой теплостойкостью и огнестойкостью, разработка новых конструкций топливных баков и систем питания двигателя, предотвращающих вытекание топлива и взрыв паровоздушной смеси, систем отключения зажигания при сильном ударе или опрокидывании автомобиля.

4) Внедрение систем пожарной сигнализации и пожаротушения. В настоящее время созданы установки локального пожаротушения, защищающие наиболее пожароопасные агрегаты и узлы автомобиля. Срабатывание этих установок возможно как автоматически от извещателей пожарной сигнализации, так и ручным включением. Но подобные установки применяются главным образом на большегрузных автомобилях за рубежом. В странах СНГ подобными устройствами оборудуются только некоторые пассажирские автобусы, воздушный и водный транспорт. Пожарные автомобили системами пожарной сигнализации и пожаротушения не оборудуются. В качестве средства пожаротушения на автомобилях используются ручные огнетушители [7,69]

1.4. Анализ существующих способов защиты спасателей от тепловых потоков открытого пожара

Для защиты спасателей от повышенных температур и мощных тепловых потоков пожара используются стационарные и передвижные укрытия. Стенки таких укрытий покрываются теплоизоляционными и огнезащитными материалами и оборудуются водяным орошением [28,58,59]. Такие укрытия

монтируются непосредственно на месте крупного пожара (особенно при тушении газовых и нефтяных фонтанов, которое может длиться недели и месяцы) [51], но не подходят для мобильного применения, тем более для установки на пожарные автомобили.

Тем не менее, систематические исследования стойкости автомобилей к мощным тепловым потокам и способов тепловой защиты агрегатов и систем автомобиля при работе вблизи фронта пламени проводятся в недостаточном объеме и широкого распространения не получили.

В настоящее время при проектировании и изготовлении новых моделей пожарных автомобилей стали закладываться отдельные технические решения по их тепловой защите [54,61,62,88,104]. Однако основное внимание уделяется активной защите – принудительному охлаждению обогреваемых поверхностей путем водяного орошения [40,49,67,100]. Этот безусловно эффективный способ не всегда может быть использован в реальных условиях тушения пожара. Водяное орошение возможно при избытке воды, то есть при стационарной работе пожарного автомобиля на водоисточнике, и становится проблематичным при его движении.

Другие (пассивные) средства тепловой защиты на пожарные автомобили устанавливаются «кустарно» на местах, без достаточных обоснований их эффективности. При этом в качестве теплоизоляции элементов автомобиля часто применяются вспененные полимерные материалы (пенополистирол и т.п.), несмотря на то, что последние обладают «тепловой прозрачностью» и пропускают до 90% теплового излучения [47,98].

По заключению специалистов ведущих научных и научно-исследовательских организаций МЧС Российской Федерации (Академии государственной противопожарной службы и Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны) «... практически вся пожарная техника на данный момент не имеет тепловой защиты, что не обеспечивает защиту личного состава и функционально важных узлов пожарной

техники в экстремальных условиях при крупных пожарах» [98].

1.5. Безопасные микроклиматические параметры в кабине пожарного автомобиля

Для определения максимально допустимого уровня внешних тепловых воздействий необходимо задаться предельными величинами микроклиматических параметров в кабине автомобиля.

Для нормальной работы человека необходимо создание определенных условий. Нарушение этих условий мобилизует защитно-приспособительные функции организма, вызывает изменение окислительно-восстановительных процессов (метаболизма), кровообращения и дыхания. Естественно, что эти процессы в организме человека не могут не отразиться на его самочувствии и работоспособности [42,57,99,111]. Отметим сразу, что единого нормативного документа, который бы регламентировал предельно допустимые микроклиматические параметры, в настоящее время не существует.

Как указывалось выше (и подтверждено экспериментами), безопасность личного состава в кабине пожарного автомобиля на пожаре определяют тепловые параметры микроклимата в ней.

Основным тепловым фактором, определяющим микроклимат в кабине и безопасность человека, является температура воздуха. Действующими санитарными нормами для временных рабочих мест допускается максимальная температура воздуха $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ [115]. Физиологическими исследованиями установлены значения предельной температуры: $60\text{--}70\text{ }^{\circ}\text{C}$ – при влажности до 20 % и скорости движения воздуха до $2,4\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, и $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ – при влажности 70–75 %, при которых человек может безопасно находиться внутри помещения в течение 10–15 мин [4,83].

Другим, не менее важным фактором теплового воздействия пожара на человека является тепловое излучение. Человек может неопределенно долго находиться без каких-либо защитных средств под воздействием теплового

излучения интенсивностью $1,4\text{--}1,6 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ [63,82]. Для личного состава пожарных подразделений допустимыми значениями плотности теплового потока приняты значения: $2,5\text{--}3,0 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$, при котором пожарные могут находиться в обычном брезентовом костюме без дополнительных теплозащитных средств длительное время, и $4,2 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$, при котором пожарные могут работать в боевой одежде и касках с защитным стеклом [82,83].

Под воздействием теплового потока пожара в первую очередь нагреваются стенки кабины. От них затем нагревается воздух и излучается теплота на интерьер кабины и на водителя [13]. Максимальной температурой поверхностей металлических конструкций, допускающей кратковременные (до 1 с) случайные прикосновения к нагретым стенкам без получения ожога считается температура $60 \text{ }^\circ\text{C}$ [14,116,118]. Допустимой температурой нагретых поверхностей в системах отопления является величина $95 \text{ }^\circ\text{C}$ [56,114]. В соответствии с исследованиями, проводимыми НИИ охраны труда (г. Тбилиси), за предельную температуру нагретых поверхностей ограждений принято значение $100 \text{ }^\circ\text{C}$ при отсутствии непосредственного контакта тела человека с нагретой поверхностью.

Опасность для автомобиля и человека на пожаре может представлять также ударная волна при взрыве. Предельно допустимым значением избыточного давления во фронте ударной волны при взрыве является 3 кПа , смертельные поражения человека наблюдаются при давлении более 200 кПа [17,83]. Серийные грузовые и пожарные автомобили (за исключением автомобиля МАЗ-543 и пожарного аэродромного автомобиля АА-60(7310)160.01 на его шасси) на стойкость к воздействию ударной волны не рассчитываются и не испытываются.

Таким образом, предельными тепловыми параметрами микроклимата в кабине автомобиля можно считать: радиационные температуры стенок – $100 \text{ }^\circ\text{C}$; среднюю температуру воздуха в кабине – $60 \text{ }^\circ\text{C}$; интенсивность теплового потока внутри кабины – $2,5 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$.

1.6. Обзор современных методов оценки микроклимата в кабинах транспортных средств

При разработке кабин автомобилей народного хозяйства большую роль играет заключительный этап – испытание готовых кабин для оценки правильности использования средств обеспечения комфортного микроклимата.

Нормативным документом, наиболее полно и подробно регламентирующим методику оценки температур воздуха и поверхностей кабины, влажность и скорость воздуха, его запыленность и загазованность, требования к проведению испытаний, можно считать ГОСТ 12.2.002 «ССБТ. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности» [87]. Появление этого стандарта было вызвано особенностями работы сельскохозяйственной техники.

В настоящее время имеются аналогичные методики для ряда других машин: для грузовых автомобилей и автобусов [52,91], морских и речных судов, самолетов и вертолетов, сельскохозяйственных машин, подвижного состава железнодорожного транспорта, пожарной техники [66,85] и др.

В соответствии с ГОСТ 12.2.002 при проведении испытаний кабины в точках, указанных на рисунке 1.7, измеряются следующие параметры микроклимата (не менее трех раз с интервалом между измерениями в 30 мин):

- температура воздуха – в точках 1 ... 6;
- относительная влажность воздуха – в точке 7;
- скорость движения воздуха – в точках 5, 7;
- разность температур воздуха на уровне ног – в точках 1, 2;
- разность температур воздуха между уровнем ног и головы – в точках 1, 5;
- температуры внутренних поверхностей – в центрах поверхностей, однородных по материалу и степени нагрева (кроме поверхностей стекол).

Измерение микроклиматических параметров в кабине производится при выполнении машиной технологического процесса и при установке машины на свободном пространстве или в климатической камере [87]. Условия испытаний для теплого периода года должны соответствовать указанным в таблице 1.3 и для

холодного периода года – в таблице 1.4.

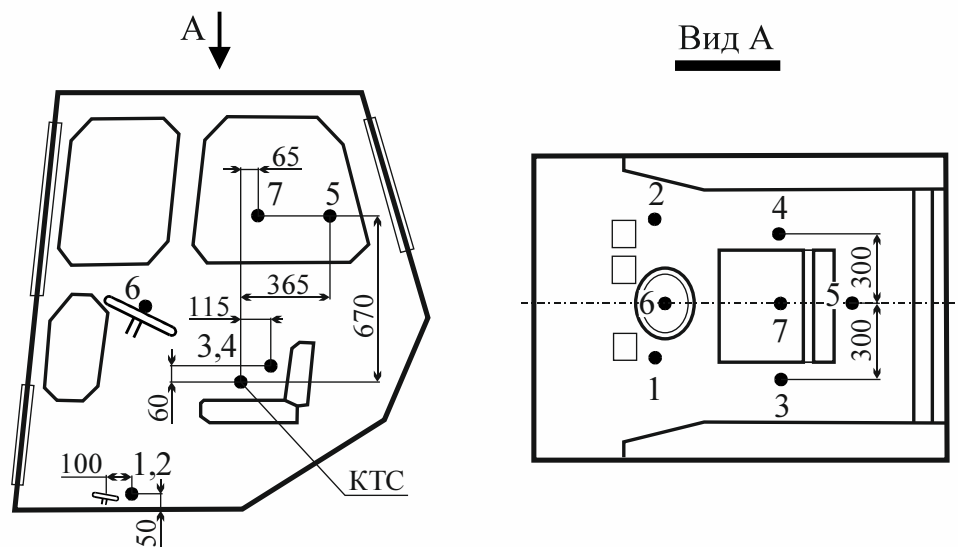


Рисунок 1.7. Схема расположения точек измерения показателей микроклимата в кабине: 1 ... 7 – точки измерений

Таблица 1.3

Условия испытаний техники для теплого периода года

Наименование параметра	Значение параметра		
	при выполнении технологического процесса	при установке на свободном пространстве	при испытании в климатической камере
Температура наружного воздуха	Не более чем на 3 °С выше или ниже средней температуры наружного воздуха в 13 ч местного времени самого жаркого месяца данной климатической зоны		(31 ± 2) °С при относительной влажности воздуха (60 ± 5) %
Скорость ветра	Не более чем на 25 % выше средней скорости ветра в период работы машины для данной зоны испытаний		(5±1) м/с
Солнечная радиация	Ясная погода		Суммарная интенсивность солнечной радиации на горизонтальную поверхность (600±50) Вт/м ²

Наименование параметра	Значение параметра		
	при выполнении технологического процесса	при установке на свободном пространстве	при испытании в климатической камере
Загрузка двигателя машины	(70 ± 15) % от номинальной		
Направление движения (установки) машины	Не регламентируется	Против солнца	Против создаваемого потока воздуха
Состояние кабины	Двери и окна закрыты		
Число операторов в кабине (на рабочем месте)	По числу рабочих мест		
Загрузка средств нормализации микроклимата	Включены на режим, обеспечивающий максимальную производительность		
Время проведения измерений	В период с 12 ч до 16 ч местного времени	В любое время суток	
Начало отсчета измеряемых параметров	С момента включения системы нормализации микроклимата. Испытания прекращают, если при трех последующих замерах с интервалом не более 10 мин температура снижается не более чем на 1 °С или через 1 ч после начала испытаний		

Перед испытанием машина должна отработать не менее 60 мин при номинальной нагрузке двигателя и включенной системе нормализации микроклимата.

Таблица 1.4

Условия испытаний техники для холодного периода года

Наименование параметра	Значение параметра	
	при выполнении технологического процесса	при испытании в климатической камере
Температура воздуха	Не более чем на 3 °С выше или ниже расчетной температуры воздуха в холодный период года данной климатической зоны	От минус 20 °С до минус 40 °С с диапазоном (5 ± 1) °С
Скорость ветра	Наибольшая для зоны испытаний	Не менее 5 м/с

Наименование параметра	Значение параметра	
	при выполнении технологического процесса	при испытании в климатической камере
Солнечная радиация	Облачная погода	-
Загрузка двигателя машины	-	(20 ± 5) % от номинальной
Направление движения (установки) машины	-	Против ветра
Состояние кабины	Двери и окна закрыты	
Средства отопления	Включены на режим, обеспечивающий максимальную производительность	
Средства утепления	Установлены согласно нормативно-технической документации	
Время проведения измерений	В любое время суток	
Начало отсчета измеряемых параметров	С момента запуска двигателя и включения системы нормализации микроклимата. Испытания прекращают, если при трех последующих замерах с интервалом не более 10 мин температура повышается не более чем на 1 °С или через 1 ч после начала испытаний	

Оценочными показателями микроклимата в кабинах автомобилей являются [87]:

- 1) температура воздуха – максимальная в теплое время года и минимальная в холодное;
- 2) относительная влажность воздуха – средняя;
- 3) скорость движения воздуха – средняя;
- 4) разница температур наружного воздуха и воздуха в кабине – максимальная в теплый период года;
- 5) разница температур воздуха у головы и ног оператора – максимальная в теплый и холодный периоды года;
- 6) температуры внутренних поверхностей кабины – максимальная в теплый период года и минимальная в холодный для каждой из поверхностей.

Экспериментальная оценка параметров микроклимата в кабине является составной частью исследований общей надежности и безопасности автомобиля [66,85,107,108,109].

Цель и задачи исследования

В результате выполненного анализа влияния тепловых факторов открытого пожара на микроклимат в кабине пожарного автомобиля установлено следующее.

Для повышения эффективности тушения крупных открытых пожаров, уменьшения времени боевого развертывания современные пожарные автомобили оборудуются стационарными лафетными стволами и производят тушение пожара в зоне, непосредственно примыкающей к очагу пожара. Автомобили в этом случае подвергаются тепловому воздействию пожара, в 10–50 раз превышающему солнечную радиацию. Тактико-технические возможности пожарного автомобиля, безопасность спасателей в кабине при этом определяются приспособленностью последней к мощному тепловому воздействию.

Пожарные автомобили изготавливают на шасси автомобилей общего назначения, причем салон боевого расчета устанавливается на базовом шасси сзади готовой кабины. Защита кабины пожарного автомобиля (как и базового грузового автомобиля) рассчитывается только на воздействие солнечной радиации, средней температуры окружающей среды, ветра, влажности, осадков.

Конструкции современных пожарных автомобилей из-за отсутствия специальных средств тепловой защиты не обеспечивают безопасного микроклимата в кабине при воздействии тепловых потоков открытого пожара.

Существующие в настоящее время нормативные документы по технике безопасности и по методикам испытаний не в полной мере отражают требования к кабине со спасателями и автомобилю в целом при воздействии на него мощного теплового излучения открытого пожара.

На основании изложенного, целью настоящего исследования является

обоснование параметров средств тепловой защиты спасателей при тушении пожара путем раскрытия закономерностей нестационарных теплообменных процессов при воздействии открытого пожара на кабину пожарного автомобиля с учетом геометрических и теплофизических характеристик материалов ее ограждений.

Для достижения поставленной цели требуется решение следующих задач:

- 1) выполнить анализ последствий теплового воздействия открытого пожара на пожарный автомобиль и спасателя в его кабине;
- 2) выполнить теоретические исследования процесса нестационарного теплообмена окружающей среды с непрозрачными и светопрозрачными ограждениями кабины автомобиля;
- 3) провести экспериментальные исследования процессов внешнего теплового воздействия на кабину автомобиля и определить границы применимости разработанной математической модели;
- 4) исследовать влияние теплофизических свойств материалов ограждений на эффективность защиты спасателей в кабине автомобиля от тепловых потоков открытого пожара, определить границы теплоустойчивости кабин автомобилей с различными средствами тепловой защиты;
- 5) разработать методику прогнозирования параметров микроклимата в кабине и пожарной безопасности автомобиля.

ГЛАВА 2

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ
ПРОЦЕССОВ В ОГРАЖДЕНИЯХ КАБИН АВТОМОБИЛЕЙ**

При внешнем тепловом воздействии на кабину пожарного автомобиля поступления теплоты через ограждения будут различны. Количество теплоты определяется, прежде всего, схемой и длительностью воздействия источника теплового излучения на пожарный автомобиль, которые, в свою очередь, определяются поставленной тактической задачей.

Однозначно сказать, какой вид ограждений кабины играет основную роль в тепlopоступлении, какая схема теплового воздействия наиболее опасна, невозможно. Для рассмотрения роли ограждающих конструкций в суммарном тепlopоступлении теплообмен окружающей среды с кабиной автомобиля необходимо рассматривать как теплообмен геометрически замкнутой системы, где параметры теплообмена отдельных ее элементов взаимосвязаны.

2.1. Оценка теплового баланса кабины автомобиля

Очевидно, что тепловое равновесие в кабине автомобиля наступит тогда, когда поступающие в нее тепловые потоки будут равны тепловым потокам, выходящим из нее. То есть уравнение теплового баланса кабины будет выглядеть следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n Q_i = \sum_{j=1}^m Q_j, \quad (2.1)$$

где Q_i – тепlopоступление в кабину, Вт;

Q_j – теплоотвод из кабины, Вт;

n – количество составляющих, участвующих в тепlopоступлении;

m – количество составляющих, участвующих в теплоотводе.

Кабина и салон боевого расчета пожарного автомобиля представляют собой цельнометаллическую вентилируемую камеру с прозрачными и непрозрачными ограждениями, в которой размещаются спасатели. Конструкция кабины определяется типом и назначением автомобиля, однако основное различие в ограждениях состоит лишь в размерах элементов и номенклатуре используемых материалов. Это позволяет представить кабину автомобиля в формализованном виде (рисунок 2.1) и анализировать ее тепловой баланс по методике, изложенной например М.В. Михайловым [47].

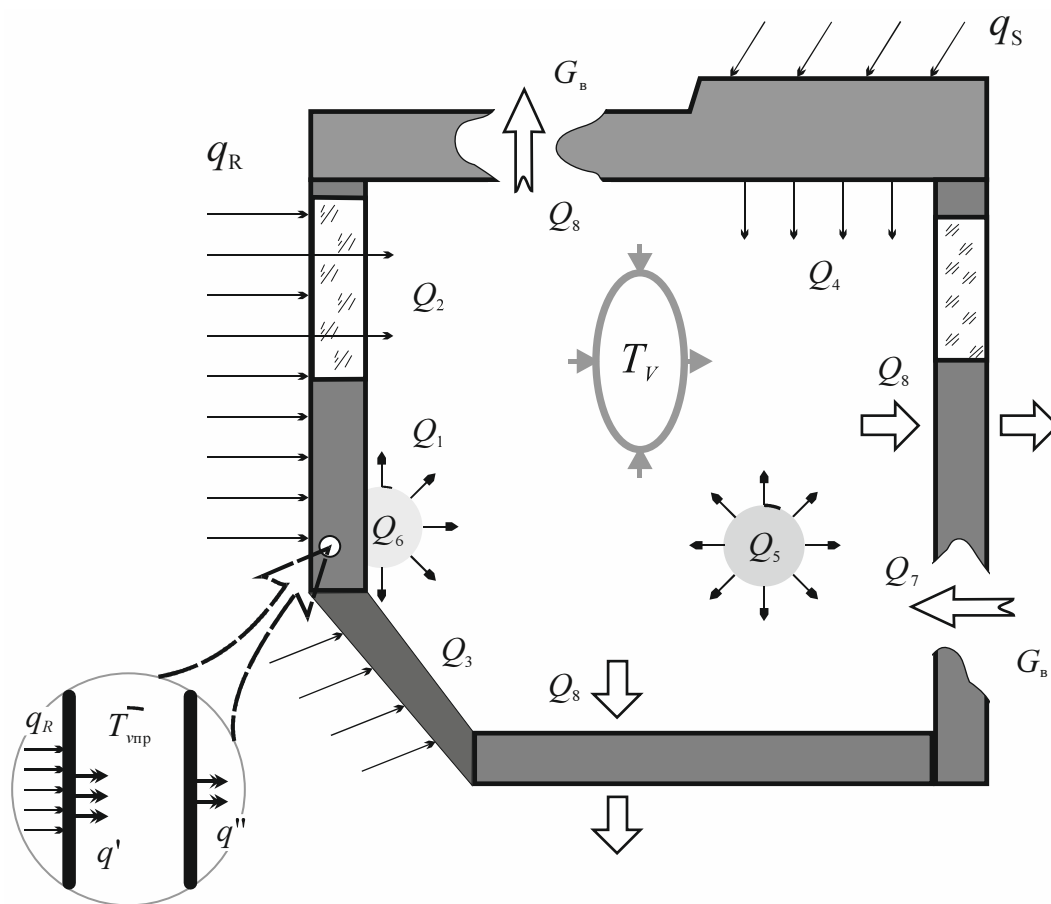


Рисунок 2.1. Схематическое изображение тепловых потоков в кабине пожарного автомобиля

С учетом составляющих теплового баланса уравнение (2.1) имеет вид:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 = Q_8, \quad (2.2)$$

где Q_1 – количество теплоты, поступающее в кабину через облучаемые непрозрачные ограждения, Вт;

Q_2 – количество теплоты, поступающее в кабину через облучаемые светопрозрачные ограждения (остекление), Вт;

Q_3 – количество теплоты, поступающее в кабину автомобиля от работающего двигателя, Вт;

Q_4 – количество теплоты, поступающее в кабину (удаляемое из кабины) системами отопления, вентиляции и кондиционирования, Вт;

Q_5 – количество теплоты, поступающее в кабину от водителя автомобиля и членов боевого расчета (спасателей), Вт;

Q_6 – количество теплоты, поступающее от приборов и оборудования кабины, Вт;

Q_7 – количество теплоты, поступающее в кабину (удаляемое из кабины) с наружным воздухом, проникающим через неплотности, Вт;

Q_8 – теплопотери кабины через необлучаемые поверхности ограждений, Вт.

При этом следует иметь в виду, что некоторые составляющие теплового баланса в общем случае могут быть как положительными, так и отрицательными. Рассмотрим подробно составляющие уравнения (2.2).

Q_1 – теплопоступление через облучаемые непрозрачные ограждения. В общем случае $Q_1 = Q_1' + Q_1''$, где Q_1' – теплопоступление через вертикальные поверхности; Q_1'' – теплопоступление через горизонтальные поверхности. Величина Q_1 определяется тепловыми потоками от пожара, солнечной радиацией (прямой и рассеянной) и температурой окружающей среды.

Температура окружающей среды и интенсивность солнечной радиации могут приниматься в соответствии с нормативными документами [81], либо определяться по методикам, учитывающим размещение и ориентацию объекта [89,95]. Для большинства расчетов интенсивность прямой солнечной радиации допускается принимать равной $0,815 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ (так называемая «Солнечная постоянная») [43].

Q_2 – теплопоступление через облучаемые светопрозрачные ограждения. В общем случае $Q_2 = Q_2' + Q_2'' + Q_2'''$, где Q_2' – теплопоступление через лобовое стекло, Q_2'' – через боковое остекление, Q_2''' – через заднее стекло (при его наличии). Величина Q_2 определяется аналогично Q_1 .

Q_3 – теплопоступление от работающего двигателя автомобиля. На практике величину Q_3 определяют по формуле:

$$Q_3 = K_3 \cdot (T_3 - T_v) \cdot F_3, \quad (2.3)$$

где K_3 – коэффициент теплопередачи элемента ограждения между моторным отсеком и кабиной, Вт·м⁻²·К⁻¹;

T_3 – температура воздуха в моторном отсеке, К;

T_v – температура воздуха в кабине, К;

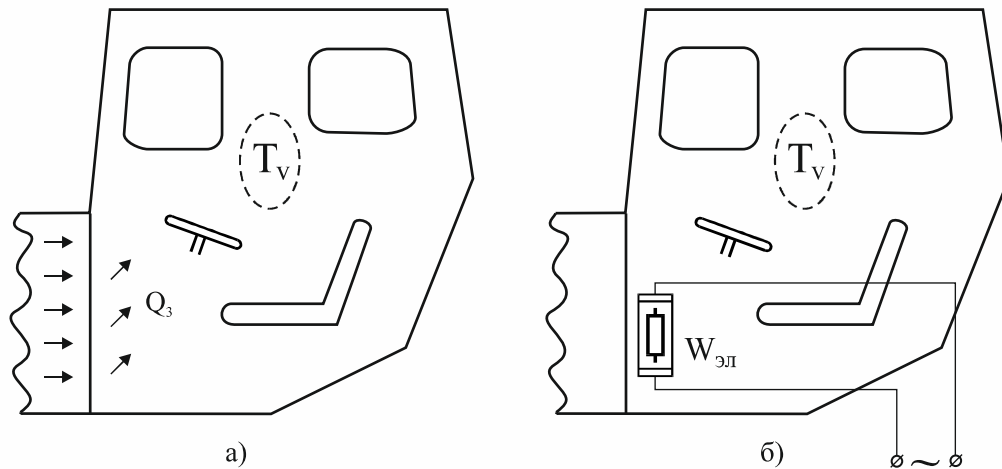
F_3 – площадь ограждения между моторным отсеком и кабиной, м².

В работе Х.И. Исхакова [30] экспериментально установлено значение K_3 для грузового автомобиля ЗИЛ-130 (10,1 Вт·м⁻²·К⁻¹ при стационарном тепловом режиме двигателя $T_3 = 65\text{--}90$ °С). Отсюда, при средней температуре воздуха в кабине $T_v = 35$ °С величина $Q_3 = 210\text{--}330$ Вт.

Для исследуемых пожарных автомобилей автором экспериментально определялась величина теплопоступления от двигателя при различных режимах его работы. Суть эксперимента изображена на рисунке 2.2. Вначале измерялась средняя стационарная температура воздуха T_v в кабине при работающем двигателе автомобиля, затем подбиралась мощность электронагревателя в кабине $W_{эл}$, при условии поддержания такой же температуры воздуха. Результаты экспериментальных исследований (таблица 2.1) подтверждают данные Х.И. Исхакова.

Q_4 – теплопоступление от системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Значение Q_4 определяется экспериментально, исходя из того, что вентиляция кабины автомобиля осуществляется наружным

(или внутренним, через кондиционер), подогретым или охлажденным воздухом.



$$T_{V_б} = T_{V_а} \Rightarrow W_{эл} = Q_3$$

Рисунок 2.2. Схема для экспериментального определения величины Q_3 в тепловом балансе кабины: а) измерение температуры в кабине при работающем двигателе; б) подбор электронагревателей эквивалентной мощности $W_{эл}$ в кабине

Таблица 2.1

Средняя величина тепlopоступления от двигателей пожарных автомобилей

Режим работы двигателя	Тепlopоступление от двигателя автомобиля, Вт		
	АЦ-40(130)63б	АН-40(130)127	АЦ-40(131)137
Холостые обороты	210	210	200
Работа на насос	380	410	360
Работа на насос с дополнит. охлаждением	290	320	300

Максимальное количество теплоты, поступающей или выводимой из кабины вентилятором, может быть определено по формуле [47]:

$$Q_4 = \rho \cdot c_p \cdot W \cdot (\Delta t_в - \Delta t_{вен}), \quad (2.4)$$

где ρ – плотность воздуха, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

c_p – удельная теплоемкость воздуха, $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$;

W – подача воздуха вентилятором, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$;

$\Delta t_{\text{в}}$ – разность температур между внутренним и наружным воздухом, К;

$\Delta t_{\text{вент}}$ – повышение температуры воздуха, внутри вентилятора, ориентировочно $0,3$ °С.

При этом возможности вентиляции весьма ограничены, прежде всего максимально допустимой санитарными нормами скоростью воздуха внутри кабины $V_{\text{вм}} = 1,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. То есть, тепловой поток, выводимый вентилятором из кабины объемом $2\text{--}4 \text{ м}^3$, не может превышать 400 Вт [47]. В случае же наличия внутреннего кондиционера дополнительно учитывается его холодопроизводительность или теплопроизводительность.

Q_5 – теплопоступление от водителя и членов экипажа автомобиля. Выделение тепла человеком зависит от степени тяжести выполняемой им работы и может изменяться в достаточно широких пределах.

В соответствии с данными М.В. Михайлова [47] в интервале температур от $+25$ до $+35$ °С общее тепловыделение одного человека изменяется в пределах $90\text{--}200 \text{ Вт}$, в зависимости от степени тяжести выполняемой человеком работы.

В интервале температур воздуха от $+18$ до $+30$ °С количество теплоты, передаваемой воздуху от водителя или члена экипажа (излучением, конвекцией, потоотделением и теплопроводностью) может определяться по эмпирической формуле, предложенной В.П. Хохряковым [97]:

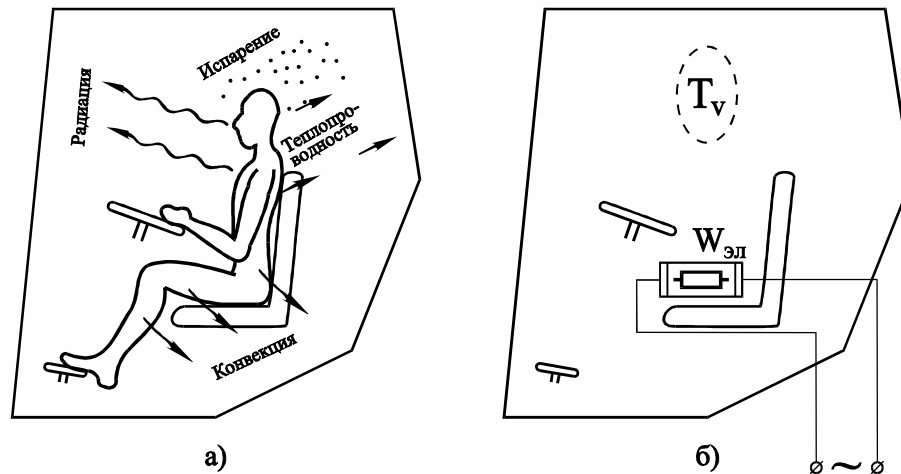
$$Q_5 = K_{\text{л}} \cdot (186 - 1,8 \cdot T_{\text{в}}), \quad (2.5)$$

где $K_{\text{л}}$ – число пассажиров в кабине (вместе с водителем);

$T_{\text{в}}$ – температура воздуха в кабине, °С.

При экспериментальном определении величины Q_5 (рисунок 2.3) автором были получены следующие результаты: теплопоступление от человека в состоянии покоя $75\text{--}85 \text{ Вт}$; теплопоступление при эксплуатации пожарного

автомобиля: водитель (управление автомобилем) – 200–230 Вт, спасатель (управление лафетным стволом) – 170–210 Вт.



$$T_{V_6} = T_{V_a} \Rightarrow W_{эл} = Q_5$$

Рисунок 2.3. Схема для экспериментального определения величины Q_5 в тепловом балансе кабины: а) измерение температуры в кабине с личным составом; б) подбор электронагревателей эквивалентной мощности $W_{эл}$ в кабине

Q_6 – теплоступление от приборов и оборудования. Величину Q_6 можно определить по формуле [47]:

$$Q_6 = Q_{эл} + Q_{эп} + Q_{эд} + Q_{эо} + Q_{др}, \quad (2.6)$$

где $Q_{эл}$ – тепловыделение контрольных ламп щитка приборов и ламп освещения кабины (практически эквивалентно их мощности), Вт;

$Q_{эп}$ – тепловыделение от электропроводов, Вт;

$Q_{эд}$ – тепловыделение от электродвигателей, Вт;

$Q_{эо}$ – тепловыделение от дополнительного электрооборудования кабины (радиостанций, звукоусилительных устройств и т.п.), Вт;

$Q_{др}$ – тепловыделение от неэлектрического оборудования (гидравлического и т.п.), установленного в кабине, Вт;

Величину тепловыделения от электропроводов можно рассчитать по закону Джоуля-Ленца:

$$Q_{эн} = \frac{U^2}{\rho} \cdot F \cdot L,$$

где U – напряжение в бортовой сети автомобиля, В;

ρ – удельное сопротивление материала провода (с учетом его увеличения от повышения температуры во время работы электропровода), Ом·мм²·м⁻¹;

F – сечение провода, мм²;

L – длина провода, м.

Тепловыделение от электродвигателей можно приближенно оценить по формуле:

$$Q_{эд} = (1 - \eta) \cdot N,$$

где η – КПД электродвигателя;

N – мощность электродвигателя, Вт.

Величины $Q_{зо}$ и $Q_{др}$ определяется только экспериментальным путем для каждого прибора и агрегата, находящегося в кабине. Причем для большинства приборов величину тепловыделения, вследствие ее малости, необходимо определять калориметрическим методом.

Так автором была измерена мощность, выделяющаяся на радиостанции 56РТМ-А2-ЧМ «Пальма». Среднее значение составило 10–15 Вт в режиме приема и 30–45 Вт в режиме передачи.

Q_7 – теплоступление от наружного воздуха, проникающего через неплотности кабины. В общем случае количество поступающего (и выходящего) через неплотности кабины воздуха определяется по методике, предложенной

В.П. Хохряковым [97]. Эксперимент проводится на специально дооборудованном автомобиле (рисунок 2.4).

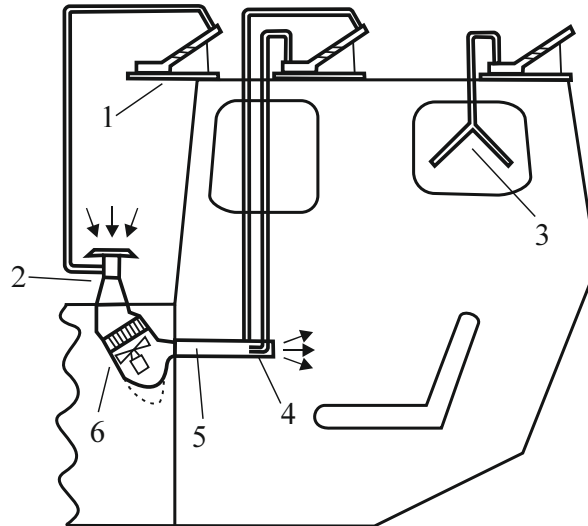


Рисунок 2.4. Схема дооборудованной кабины автомобиля для экспериментального определения величины Q_7 в тепловом балансе кабины: 1 – микроманометр; 2 – воздухозаборник; 3 – приемник статического давления; 4 – приемники полного и статического давления; 5 – воздуховод; 6 – вентилятор

Перед измерениями все отверстия кабины (рулевой колонки, приводов управления, дверных ручек и т.п.) поочередно герметизируются. Во время испытаний определяются статическое давление P_k в воздухозаборнике, динамическое давление P_d в воздуховоде, статическое давление P в кабине, давление P_n и температура T_n наружного воздуха. Затем поочередно открываются все отверстия и производятся аналогичные замеры в каждом случае. Величины расхода воздуха G_{vi} для каждой неплотности и для кабины в целом определяются по формуле [97]:

$$G_{\theta} = \sum_{i=1}^n \left(\varepsilon_i \cdot S_i \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta P}{\rho_{\theta}}} \right), \quad (2.8)$$

где G_B – суммарный расход воздуха через неплотности кабины, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$;
 ε_i – коэффициент истечения воздуха через i -е отверстие;
 S_i – площадь сечения i -го отверстия, м^2 ;
 ΔP – перепад давлений снаружи и внутри кабины, Па;
 ρ_B – плотность воздуха, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

По известному значению G_B определяется величина Q_7 :

$$Q_7 = \rho \cdot c_p \cdot G_B \cdot \Delta t_6.$$

На практике величину G_B точно определить практически невозможно. Наличие и размеры неплотностей кабины зависят от качества изготовления кабины, условий ее эксплуатации, качества технического обслуживания и т.д. Поэтому проще условиться считать кабину автомобиля герметичной, тогда величиной расхода воздуха G_B и, соответственно, Q_7 можно пренебречь. Однако при повреждениях ограждающих конструкций (например, при разрушении остекления в результате теплового воздействия) величина G_B становится значительной, и необходимо определять значение Q_7 .

Q_8 – теплопотери через необлучаемые поверхности кабины. Значение Q_8 учитывает теплопотери излучением, конвекцией от нагретых стенок и теплоотвод с нагретым воздухом, выходящим через неплотности кабины.

Еще одной возможной составляющей теплового баланса кабины можно считать тепlopоступление при горении (термическом разложении) оборудования и материалов интерьера кабины. Воспламенение горючих материалов внутри кабины возможно:

- при неисправностях оборудования автомобиля (например, при коротком замыкании электропроводки);
- при термическом разложении горючих материалов интерьера под воздействием мощных тепловых потоков пожара;
- при внесении открытого огня внутрь кабины вследствие разрушения

ограждающих конструкций (в первую очередь остекления).

Однако если учитывать, что при горении внутри кабины автомобиля ни водитель, ни члены экипажа находиться в ней уже не могут, при исследовании параметров микроклимата в кабине пожарного автомобиля следует исключать возможность горения внутри нее.

2.2. Исследование теплообменных процессов в ограждающих конструкциях кабин

Определению параметров микроклимата в кабинах автомобилей посвящены работы многих авторов. Наиболее полно расчетные методы описаны в работах М.В. Михайлова [47], Ю.М. Кисляка [35], Х.И. Исхакова [30,31,71]. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки.

Так методы расчета М.В. Михайлова и Ю.М. Кисляка рассматривают стационарный тепловой режим, то есть не позволяют анализировать динамику нагрева ограждающих конструкций. Подобные методы пригодны только для постоянных или медленно меняющихся внешних условий (например, для сельскохозяйственной или строительной техники) и не учитывают возможности кратковременной работы автомобиля в зоне теплового воздействия. Этот недостаток устранен в расчетном методе Х.И. Исхакова, рассматривающем нестационарный тепловой режим.

В свою очередь расчетные методы Х.И. Исхакова и Ю.М. Кисляка игнорируют теплообмен излучением и конвекцией в воздушных прослойках ограждающих конструкций, рассматривая ограждающие конструкции с воздушными прослойками как сплошные конструкции с эквивалентными теплофизическими параметрами. Также указанные методы не учитывают объемный характер поглощения излучения остеклением кабины и проникновение части теплового излучения внутрь нее.

В результате расчетные методы Ю.М. Кисляка и Х.И. Исхакова дают заниженные результаты по сравнению с данными натурных экспериментов,

причем расхождение результатов составляет 15–35 % в зависимости от мощности воздействующего на кабину теплового потока.

При разработке собственного метода расчета параметров микроклимата в кабине автомобиля автор учел недостатки перечисленных методов.

Конструкция кабины определяется типом и назначением пожарного автомобиля. Однако основное различие в конструкциях кабин различных типов автомобилей состоит лишь в размерах элементов и номенклатуре используемых материалов (см. рисунок 1.5 и таблицу 1.2). Ограждения кабин различны по своим конфигурациям и теплофизическим свойствам, но толщина каждого из них много меньше его протяженности. Это позволяет элементы ограждающих конструкций кабины представить в виде бесконечно протяженных плоскопараллельных пластин, а процесс теплообмена каждого элемента рассматривать как одномерный (см. рисунок 2.1).

Полагаем, что ограждающие конструкции кабины автомобиля состоят из N элементов. Пусть m первых элементов ограждения являются непрозрачными для теплового излучения, а остальные $N-m$ элементов – светопрозрачными. Все элементы ограждения являются облучаемыми тепловыми потоками q_k ($k=1,2,\dots,N$). Для необлучаемого k -го элемента полагаем $q_k = 0$. Для определения тепловых параметров воздушной среды в кабине ставится задача теплообмена, сопряженная через граничные условия по Q_j в выражении (2.1) [9,10,11].

Сопряженная задача нестационарного теплообмена окружающей среды с кабиной автомобиля состоит из трех взаимосвязанных задач:

1) Определение m функций температурных полей $T_k = T_k(x,\tau)$ внутри непрозрачных элементов ограждающих конструкций, удовлетворяющих следующим условиям однозначности:

- уравнению теплопроводности

$$\frac{\partial T_k}{\partial \tau} = a_k \cdot \frac{\partial^2 T_k}{\partial x^2}; \quad \tau > 0, \quad 0 \leq x \leq l_k, \quad k=1,2,\dots,m; \quad (2.9)$$

- начальным условиям

$$T_k(x,0) = T_0; \quad k=1,2,\dots,m; \quad (2.10)$$

- граничному условию при $x=0$

$$\lambda_k \cdot \frac{\partial T_k}{\partial x} + \alpha_k^{(e)} \cdot (T_s - T_k) \Big|_{x=0} = q_k - q_{лк}; \quad k=1,2,\dots,m; \quad (2.11)$$

- граничному условию при $x=l_k$

$$\lambda_k \cdot \frac{\partial T_k}{\partial x} + \alpha_k^{(i)} \cdot (T_k - T_v) \Big|_{x=l_k} = q_{лк}; \quad k=1,2,\dots,m, \quad (2.12)$$

где T_k – температура соответствующей поверхности k -го элемента, °С;

a_k – коэффициент температуропроводности k -го элемента, $m^2 \cdot c^{-1}$;

l_k – толщина k -го элемента, м;

T_0 – температура среды внутри кабины в начальный момент времени, °С;

λ_k – коэффициент теплопроводности k -го элемента, $Вт \cdot м^{-1} \cdot К^{-1}$;

$\alpha_k^{(e)}$ – коэффициент теплоотдачи k -го элемента ограждения с наружной стороны кабины, $Вт \cdot м^{-2} \cdot К^{-1}$;

T_s – температура окружающей среды, °С;

$\alpha_k^{(i)}$ – коэффициент теплоотдачи k -го элемента ограждения со стороны кабины, $Вт \cdot м^{-2} \cdot К^{-1}$;

T_v – температура воздуха внутри кабины, °С;

$q_{лк}$ – тепловой поток, излучаемый k -м элементом ограждения в окружающую среду, $Вт \cdot м^{-2}$;

$$q_{лк} = \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot (T_k^{(e)4} - T_s^4) \cdot \varphi, \quad (2.13)$$

где ε – приведенная степень черноты системы «элемент ограждения –

окружающая среда»;

σ_0 – постоянная Стефана-Больцмана, $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$;

$T_k^{(e)}$ – температура наружной поверхности элемента ограждения, К;

φ – коэффициент облученности.

2) Определение $N-m$ функций температурных полей $T_k = T_k(x, \tau)$ внутри светопрозрачных элементов ограждения кабины, удовлетворяющих следующим условиям однозначности:

- уравнению теплопроводности

$$\frac{\partial T_k}{\partial \tau} = a_k \cdot \frac{\partial^2 T_k}{\partial x^2} + q \cdot \frac{k_{\Pi}}{c_p \cdot \rho} \cdot e^{-k_{\Pi} x}; \quad \tau > 0, 0 \leq x \leq l_k, k = m+1, m+2, \dots, N; \quad (2.14)$$

- начальным условиям

$$T_k(x, 0) = T_0; \quad k = m+1, m+2, \dots, N; \quad (2.15)$$

- граничному условию при $x=0$

$$\lambda_k \cdot \frac{\partial T_k}{\partial x} + \alpha_k^{(e)} \cdot (T_s - T_k) \Big|_{x=0} = q_k - q_{\Pi k} - R q_k; \quad k = m+1, m+2, \dots, N; \quad (2.16)$$

- граничному условию при $x=l_k$

$$\lambda_k \cdot \frac{\partial T_k}{\partial x} + \alpha_k^{(i)} \cdot (T_k - T_v) \Big|_{x=l_k} = q_{\Pi k}; \quad k = m+1, m+2, \dots, N, \quad (2.17)$$

где k_{Π} – средний интегральный коэффициент поглощения материала полупрозрачного элемента, м^{-1} ;

R – средний интегральный коэффициент отражения материала полупрозрачного элемента.

3) Определение среднеобъемных параметров состояния среды внутри кабины: температуры T_V , плотности ρ_V , давления P_V , удовлетворяющих следующим условиям:

- уравнению материального баланса

$$\frac{d}{d\tau}(\rho_V \cdot V_V) = G_B + \psi - G_\Gamma; \quad (2.18)$$

- уравнению баланса энергии

$$\begin{aligned} \frac{K}{K-1} \cdot V \cdot \frac{dP_V}{d\tau} = \sum_{i=1}^L Q_{wi} + c_p \cdot T_s \cdot G_B - c_p \cdot T_V \cdot G_\Gamma + \\ + \sum_{i=1}^m \alpha_k^{(i)} \cdot F_k \cdot [T_k(l_k, \tau) - T_V] + c_{эм} \cdot D \cdot q_k \end{aligned}; \quad (2.19)$$

- уравнению состояния среды в кабине

$$\rho_V = \frac{P_V}{R_V \cdot T_V}; \quad (2.20)$$

- начальным условиям

$$T_V(0) = T_0; \quad P_V(0) = P_0; \quad \rho_V(0) = \rho_0, \quad (2.21)$$

где V – объем кабины, м³;

G_B – расход воздуха, поступающего в кабину через неплотности в ограждениях (см. рисунок 2.1), кг·с⁻¹;

ψ – скорость выгорания (разложения) материалов конструкций с образованием газообразных продуктов, кг·с⁻¹;

G_Γ – расход воздуха, уходящего из кабины через неплотности в ограждениях (см. рисунок 2.1), кг·с⁻¹;

Q_{wi} – тепловыделение источников, расположенных внутри кабины в соответствии с выражением (2.2), Вт;

c_p – удельная теплоемкость воздуха, Дж·кг⁻¹·К⁻¹;

F_k – площадь поверхности k -го элемента, м²;

R_v – газовая постоянная воздуха, Дж·кг⁻¹·К⁻¹;

D – средний интегральный коэффициент пропускания излучения полупрозрачным телом;

$c_{эм}$ – эмпирический коэффициент, показывающий, какая часть проникшего в кабину теплового излучения участвует в повышении энергии среды (зависит от взаимного расположения светопрозрачных элементов ограждения).

Согласно [6,22] величины T_v , ρ_v , P_v определены следующим образом:

$$\frac{1}{T_v} = \frac{1}{V_v} \cdot \int_{V_v} \frac{dV}{T}; \quad \rho_v = \frac{1}{V_v} \cdot \int_{V_v} \rho \cdot dV; \quad P_v = \frac{1}{V_v} \cdot \int_{V_v} P \cdot dV. \quad (2.22)$$

Теплофизические характеристики многослойных элементов ограждения без воздушных прослоек можно определить по формулам [6,22,97]:

$$\lambda_{э} = \frac{\sum \lambda_i \cdot \delta_i}{\sum \delta_i}; \quad \rho_{э} = \frac{\sum \rho_i \cdot \delta_i}{\sum \delta_i}; \quad c_{pэ} = \frac{\sum c_{p_i} \cdot \rho_i \cdot \delta_i}{\sum \rho_i \cdot \delta_i}. \quad (2.23)$$

Учитывая, что $a = \lambda / c_p \cdot \rho$, получаем:

$$a_{э} = \frac{\sum \lambda_i \cdot \delta_i}{\sum c_{p_i} \cdot \rho_i \cdot \delta_i}. \quad (2.24)$$

В случаях же наличия в элементах ограждений воздушной прослойки необходимо каждый такой элемент рассматривать как отдельную геометрически замкнутую систему (см. рисунок 2.1) и учитывать тепловые параметры среды внутри воздушной прослойки элемента, а также теплообмен излучением и конвекцией между стенками ограждений через воздушную прослойку.

2.3. Математическое моделирование теплообмена открытого пожара с кабиной пожарного автомобиля

Рассмотренная система уравнений (2.9) – (2.22) является математической моделью теплообмена окружающей среды с кабиной автомобиля и позволяет определить тепловые параметры микроклимата в кабине при внешнем или внутреннем тепловом воздействии.

Особенностью предложенной математической модели является большое количество исходных данных и сложность определения некоторых параметров. Кроме того, система, состоящая из уравнений (2.18) и (2.19) относится к классу так называемых **«жестких систем»**. Такие системы требуют специальных методов решения [74,84,93].

В данном случае решение задачи производится при следующих положениях и допущениях.

1. Выполнение экипажем поставленной задачи возможно только на технически исправном автомобиле, т.е. при сохранении целостности кабины. Следовательно, возможность термического разложения материалов обшивки или, тем более, разрушение конструкций кабины не рассматривается. Кроме того, при тушении пожара у пожарного автомобиля вероятнее всего будут отключены системы отопления и вентиляции (так как вблизи фронта пламени температура воздуха будет гораздо выше, чем средняя температура окружающей среды). Поэтому, пренебрегая изменением объема кабины вследствие нагрева, полагаются значения G_v , G_T и ψ в выражениях (2.18) и (2.19) равными нулю.

2. Воздушные прослойки в ограждающих конструкциях полагаются неветилируемыми. Теплообмен в таких конструкциях рассматривается как одномерный. При средней толщине воздушной прослойки в конструкциях менее 6 мм конвективная составляющая теплоотдачи внутренних стенок в прослойках не учитывается [13,47,60].

3. Геометрические параметры элементов ограждения выбираются из чертежей конструкторской документации на соответствующие автомобили.

Элементы ограждений считаются прямоугольными, изготовленными из однородных по составу материалов.

4. Коэффициенты теплоотдачи элементов конструкций определяются, исходя из условий теплообмена, по эмпирическим формулам, предложенным Х.И. Исхаковым [30], М.В. Михайловым [47], В.П. Хохряковым [97] на основании зависимостей академика М.А. Михеева [44,48]:

- при естественной конвекции:

а) для вертикальной стенки и днища кабины

$$\alpha = 1,98 \cdot (T_{\text{ст}} - T_{\text{ср}})^{0,25}, \quad (2.25)$$

где $T_{\text{ст}}$ – температура поверхности стенки, °С;

$T_{\text{ср}}$ – температура среды, омывающей стенку, °С;

б) для горизонтальной стенки и лобового стекла

$$\alpha = 2,63 \cdot (T_{\text{ст}} - T_{\text{ср}})^{0,25}; \quad (2.26)$$

- при вынужденной конвекции:

а) при скорости воздуха до $5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$

$$\alpha = 4,41 \cdot (T_{\text{ст}} - T_{\text{ср}})^{0,25}; \quad (2.27)$$

б) при скорости воздуха более $5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ (для стенок с гладкой поверхностью)

$$\alpha = 5,95 \cdot V_{\text{возд}}^{0,8}, \quad (2.28)$$

где $V_{\text{возд}}$ – скорость потока воздуха, омывающего стенку, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$;

или (для стенок с неровной или перфорированной поверхностью)

$$\alpha = 5,3 + 3,6 \cdot V_{\text{возд}}; \quad (2.29)$$

- при принудительном обдуве поверхности ограждения струей воздуха [13]:

$$\alpha = \frac{5,07 \cdot V_{\text{ВОЗД}}^{0,8}}{l^{0,2}}, \quad (2.30)$$

где l – размер ограждения по направлению воздушной струи, м.

5. При рассмотрении лучистого теплообмена приведенная степень черноты системы «элемент ограждения – окружающая среда» определяется по формуле [41,48]:

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{СТ}}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{ВОЗД}}} - 1}. \quad (2.31)$$

При этом полагается степень черноты воздуха $\varepsilon_{\text{ВОЗД}} = \text{const} = 0,8$ [6], степень черноты лакокрасочных покрытий стенок независимой от длины волны падающего излучения: $\varepsilon_{\text{СТ}} = 0,4$ – для белой поверхности, $\varepsilon_{\text{СТ}} = 0,52$ – для светлокрасной поверхности (пожарный автомобиль), $\varepsilon_{\text{СТ}} = 0,81$ – для темно-зеленой поверхности (грузовой автомобиль) и $\varepsilon_{\text{СТ}} = 0,9$ – для внутренних поверхностей конструкций с воздушной прослойкой. В расчетах учитывается также тот факт, что при температуре стенки более 200°C начинается пиролиз и выгорание лакокрасочного покрытия, что, естественно, повлечет за собой увеличение $\varepsilon_{\text{СТ}}$.

6. Коэффициенты отражения, поглощения и пропускания для светопрозрачных материалов полагаются независимыми от длины волны падающего излучения и выбираются средними в диапазоне инфракрасного излучения по данным экспериментальных исследований.

7. При тушении пожара допускается пренебрегать солнечной радиацией, как несопоставимо меньшей, чем тепловое излучение фронта пламени. Кроме того, задымление – неизменный спутник горения – также значительно снижает интенсивность солнечной радиации, достигающую автомобиля. В случаях необходимости учета влияния солнечной радиации, она полагается постоянной,

действующей на крышу автомобиля интенсивностью $q_R = \text{const} = 0,815 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$, не зависящей от положения Солнца по отношению к автомобилю [43]. Влияние рассеянной солнечной радиации также не учитывается.

8. Значение эмпирического коэффициента $c_{эм}$ в формуле (2.19) определяется только экспериментальным путем. Предварительно можно задаться значениями $c_{эм} = 0,5$ – при воздействии теплового излучения на боковую стенку, $c_{эм} = 0,8$ – на лобовое стекло.

9. В качестве температуры окружающей среды выбирается температура, характерная для данной климатической зоны [81]. Начальная температура для всех конструкций полагается одинаковой, в зависимости от условий стоянки пожарного автомобиля, но не ниже, чем допускается правилами техники безопасности (в помещениях с постоянным пребыванием личного состава не ниже $+18 \text{ }^\circ\text{C}$, в гараже – не ниже $+16 \text{ }^\circ\text{C}$) [70].

2.4. Численное решение сопряженной задачи теплообмена

По предложенной математической модели с учетом принятых допущений разработана программа для определения параметров теплообмена окружающей среды с кабиной автомобиля, блок-схема которой приведена на рисунке 2.5.

Численное решение вышеописанной задачи производится одним из наиболее распространенных методов - методом конечных разностей (методом сеток с неявной схемой узлов). Главное достоинство этого метода – его абсолютная сходимость, то есть достоверные результаты вычисления температур при любом соотношении числа слоев, на которые разбивается каждый элемент и шага вычисления по времени [23].

За основу программы взята ранее разработанная автором подпрограмма «SOZATE» [71], дополненная модулями определения температурных полей в светопрозрачных ограждениях и в воздушных прослойках полых конструкции, а также подпрограммами интерполяции и численного дифференцирования таблично заданных функций.

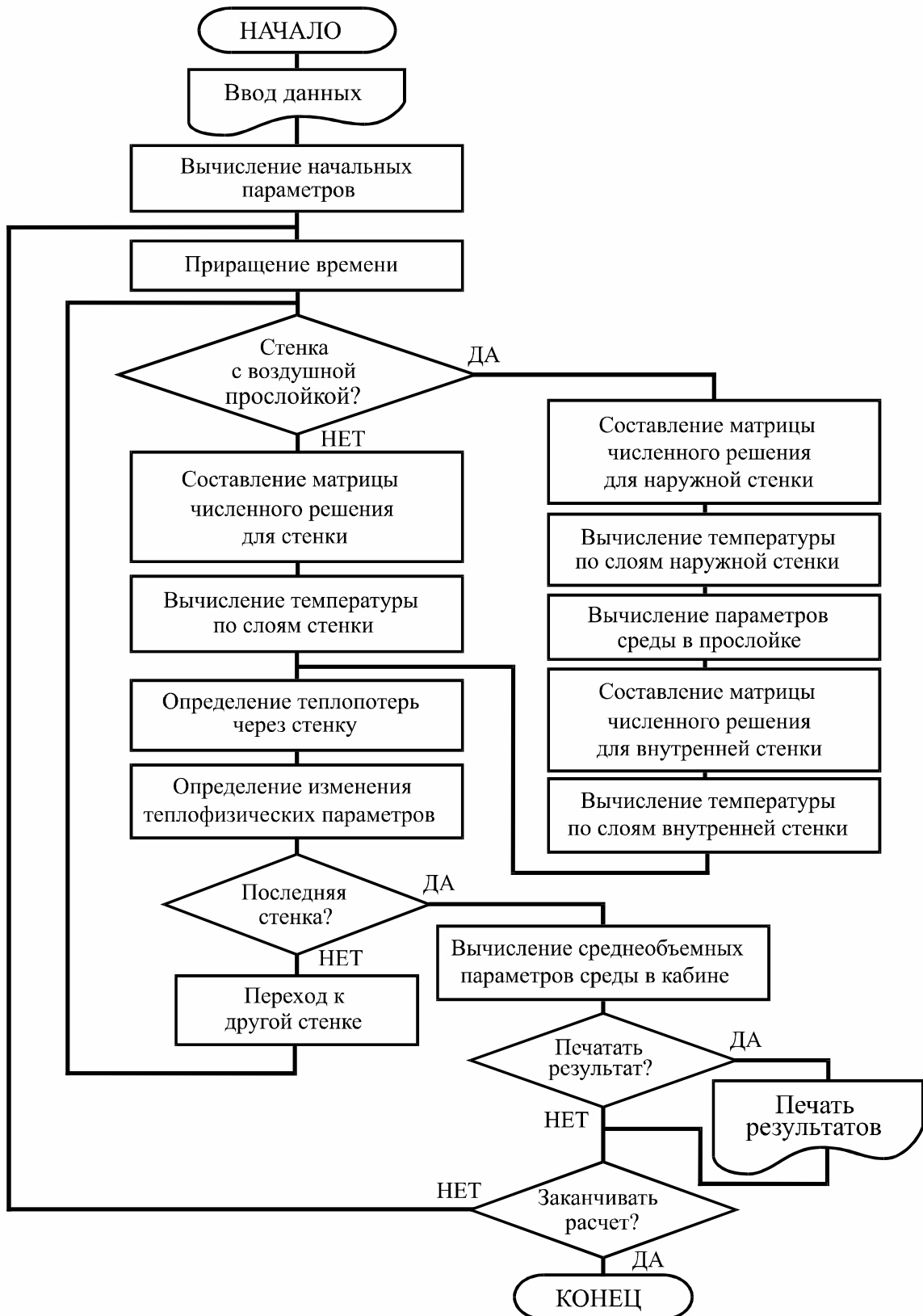


Рисунок 2.5. Блок-схема программы для определения параметров теплообмена окружающей среды с кабиной автомобиля

На рисунке 2.6 приведена динамика изменения температур в кабине

неподвижного автомобиля ЗИЛ-131 при внешнем тепловом воздействии на боковую стенку интенсивностью $q_R = 4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ при температуре окружающей среды $T_{\text{ср}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

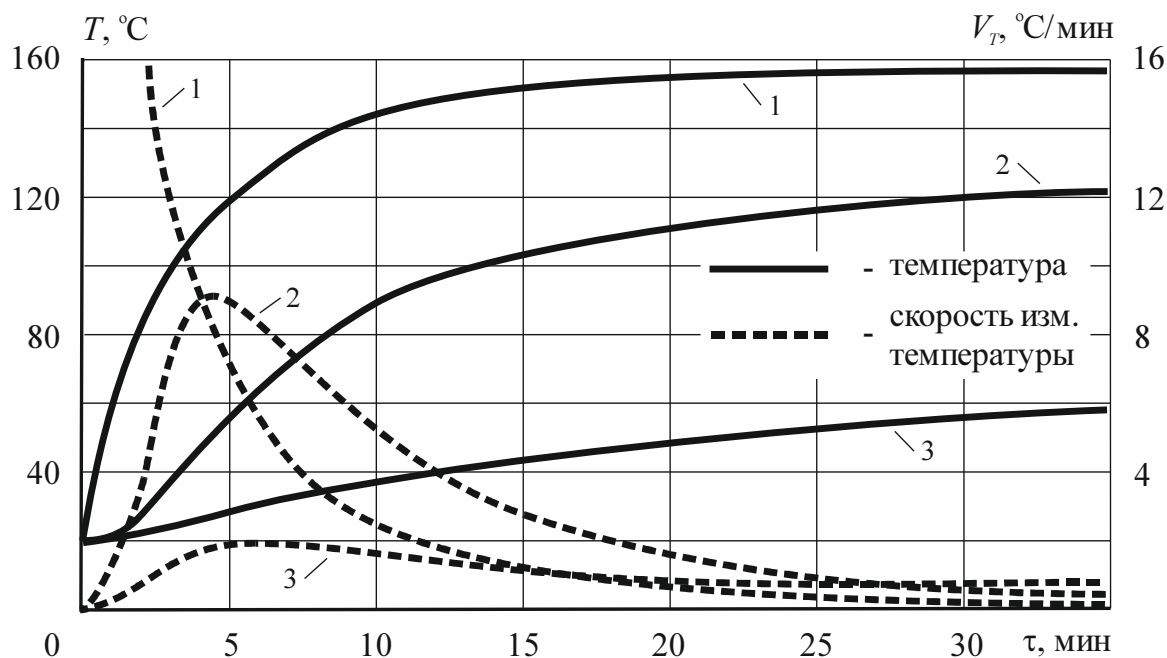


Рисунок 2.6. Изменение температур и скорости роста температур в кабине автомобиля под воздействием теплового излучения: 1 – наружная поверхность обогреваемой стенки; 2 – внутренняя поверхность обогреваемой стенки; 3 – воздух в кабине

При моделировании определялось изменение температур обогреваемой стенки и воздуха в кабине по времени. Расчет показал, что максимальная температура наружной поверхности стенки составила $156 \text{ }^\circ\text{C}$, причем выход температуры на стационарный режим произошел через 20 мин от начала теплового воздействия. Вследствие тепловой инерционности конструкции рост температуры внутренней поверхности стенки и воздуха в кабине начался через 1,5 мин после начала обогрева. Микроклиматические параметры в кабине через 35 мин теплового воздействия составили: температура обогреваемой стенки – $122 \text{ }^\circ\text{C}$, температура воздуха – $57 \text{ }^\circ\text{C}$. Максимальное значение скорости роста температуры внутренней поверхности обогреваемой стенки и воздуха в кабине

составили соответственно $9\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{мин}^{-1}$ на 4-й минуте и $2\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{мин}^{-1}$ на 6-й минуте от начала эксперимента.

Основное преимущество численного моделирования – это возможность варьирования геометрическими и теплофизическими параметрами объекта и внешними условиями прямо в процессе расчета простым добавлением соответствующих модулей в программу. На рисунке 2.7 показан характер изменения температуры внутренней поверхности боковой стенки автомобиля при воздействии теплового потока для различных условий теплоотдачи наружных стенок.

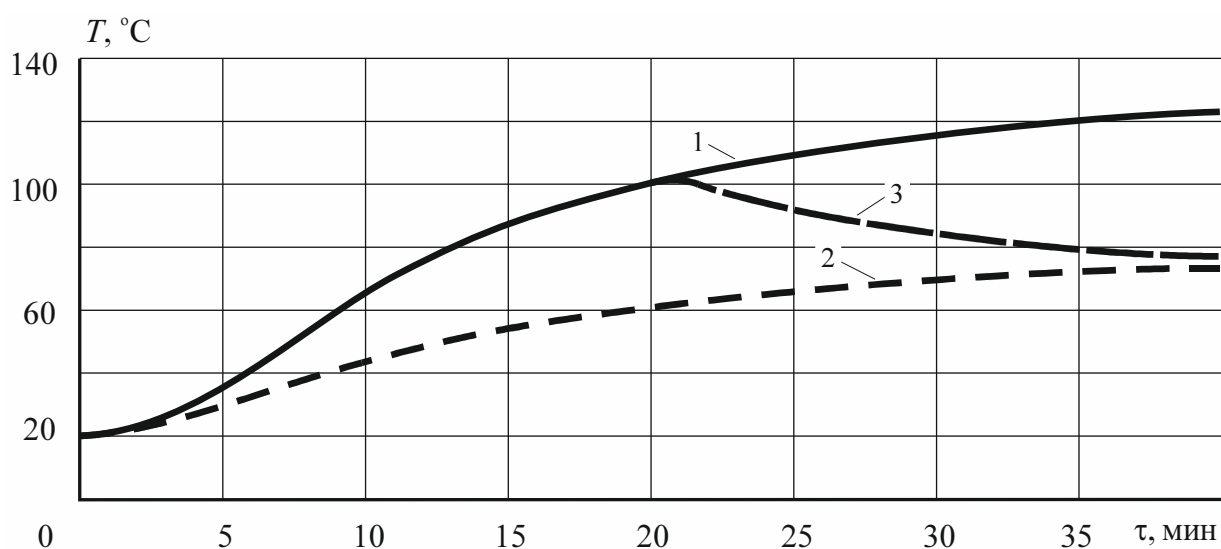


Рисунок 2.7. Изменение температуры внутренней поверхности стенки кабины при различных режимах движения автомобиля: 1 – неподвижный автомобиль; 2 – автомобиль, движущийся со скоростью $5\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$; 3 – переменный режим движения автомобиля

Внутренняя поверхность стенки неподвижного автомобиля прогрелась до $124\text{ }^{\circ}\text{C}$. При движении автомобиля увеличилась теплоотдача от стенки в окружающую среду, вследствие этого температура стенки составила всего $75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Программа позволила промоделировать и переменный режим движения (20 мин стоянки, а затем движение). Соответственно стенка вначале нагрелась до $102\text{ }^{\circ}\text{C}$, затем стала остывать, температура ее опускалась, стремясь к $75\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Выводы по главе 2

1. Рассмотрены основные условия поддержания теплового равновесия в кабине автомобиля при его эксплуатации, разработаны частные методики и выполнена оценка величин теплоступлений в кабину от работающего двигателя автомобиля (200 Вт на холостом ходу и 360 Вт при работе насоса), членов экипажа (80 Вт в состоянии покоя и 170–230 Вт во время работы), некоторых видов оборудования автомобиля.

2. Разработан метод расчета тепловых параметров микроклимата в кабине автомобиля при внешнем тепловом воздействии, учитывающий разницу в поглощении теплоты непрозрачными ограждениями кабины и ее остеклением, а также особенности теплопередачи в воздушных прослойках конструкций. При этом установлено, что при воздействии теплового потока температура стекла кабины (за счет объемного характера теплопоглощения) превышает температуру металлических стенок на 12 %. Кроме того, остекление пропускает 8–32 % теплового излучения пожара внутрь кабины. При интенсивностях теплового потока до $2,5 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ ограждения с воздушными прослойками ведут себя как сплошные стенки с эквивалентными теплофизическими параметрами, при дальнейшем увеличении мощности теплового потока температура внутренней поверхности обогреваемой стенки с воздушной прослойкой (за счет теплообмена излучением в прослойках) превышает температуру сплошной стенки на 35 % и более.

3. Определены основные положения математической модели нестационарного теплообмена окружающей среды с кабиной автомобиля и допущения, позволяющие решать поставленную задачу численными методами.

4. Разработан алгоритм и программа численного решения сопряженной задачи теплообмена, позволяющая исследовать параметры микроклимата в кабине при воздействии тепловых потоков открытого пожара.

ГЛАВА 3

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТКРЫТОГО ПОЖАРА НА КАБИНУ ПОЖАРНОГО
АВТОМОБИЛЯ**

Целью экспериментальных исследований являлось изучение теплозащитных свойств ограждающих конструкций реальных пожарных автомобилей и оценка влияния систем отопления, вентиляции и дополнительных теплозащитных средств на параметры микроклимата в кабинах.

При экспериментальном исследовании изучались:

- характер и особенности теплового воздействия пожара на автомобиль;
- температурные поля в ограждающих конструкциях кабины;
- поведение ограждающих конструкций кабины при внешнем тепловом воздействии;
- параметры микроклимата в кабине автомобиля;
- эффективность способов тепловой защиты кабины.

Для натурных экспериментов использовались кабины грузовых автомобилей ЗИЛ-130, ЗИЛ-131 и пожарных автомобилей на их шасси. Выбор автомобилей именно этих марок объяснялся следующими причинами:

- до настоящего времени в пожарно-спасательных подразделениях МЧС Украины пожарные автомобили этих марок составляют более 40 % от общего числа. Аналогично – в Государственной противопожарной службе Российской Федерации доля пожарных автомобилей на шасси ЗИЛ составляет почти 35 %;
- на автотранспортных предприятиях сохранилось большое количество списанных автомобилей, которые можно было «утилизировать путем сжигания» во время огневых испытаний.

Для некоторых условий эксперимента проводился расчет параметров микроклимата в кабине автомобиля по предложенной математической модели и их сопоставление с фактическими данными замеров.

3.1 Условия моделирования теплового воздействия открытого пожара на автомобиль

Основными условиями моделирования теплового воздействия открытого пожара на пожарный автомобиль являются [33]:

- геометрическое подобие модели и натуре;
- подобие теплофизических свойств материала модели и натуре;
- подобие конфигурации и спектрального состава падающего излучения на модель и натуре.

Геометрическое подобие модели (м) и натуре (н) обеспечивается пропорциональностью всех размеров (длина, ширина, высота, толщина и т.п.) и равенством всех углов (наклона лобового стекла, въезда и т.п.):

$$\frac{l_{1М}}{l_{1Н}} = \frac{l_{2М}}{l_{2Н}} = \frac{l_{3М}}{l_{3Н}} = \dots = \frac{l_{iМ}}{l_{iН}} = M; \quad (3.1)$$

$$\alpha_{1М} = \alpha_{1Н}; \dots; \alpha_{iМ} = \alpha_{iН}$$

где l_i – соответствующий размер i -й стенки модели (м) и натуре (н);

M – масштаб моделирования;

α_i – соответствующий угол модели (м) и натуре (н).

Минимальный характерный линейный размер модели кабины автомобиля при нагреве тепловым потоком снаружи определяется из условия автомодельности конвективного теплообмена [33]:

- для свободной конвекции

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n; \quad (3.2)$$

- для вынужденной конвекции

$$Nu = A \cdot (Re)^m, \quad (3.3)$$

где Nu – критерий Нуссельта, $Nu = \alpha \cdot l / \lambda$;

Gr – критерий Грасгофа, $Gr = g \cdot d \cdot \beta \cdot \Delta t^3 \cdot l / \nu^2$;

Pr – критерий Прандтля, $Pr = a / \nu$;

Re – критерий Рейнольдса, $Re = v \cdot l / \nu$;

C, A, n, m – эмпирические коэффициенты;

α – коэффициент теплоотдачи, $Вт \cdot м^{-2} \cdot К^{-1}$;

l – характерный линейный размер модели, м;

λ – коэффициент теплопроводности воздуха, $Вт \cdot м^{-1} \cdot К^{-1}$;

a – коэффициент температуропроводности воздуха, $м^2 \cdot с^{-1}$;

ν – кинематическая вязкость воздуха, $м^2 \cdot с^{-1}$;

g – ускорение свободного падения, $9.81 м \cdot с^{-2}$;

β – коэффициент температурного расширения воздуха, $°С^{-1}$;

Δt – разность температур между облучаемой стенкой и средой, $°С$;

v – скорость приземного ветра, $м \cdot с^{-1}$.

Параметры воздуха должны соответствовать средневероятностным значениям, а температура окружающей среды, скорость ветра и, при необходимости, интенсивность солнечной радиации – нормативным показателям, соответствующим данной климатической зоне (данному региону) [81].

Характерный минимальный линейный размер модели l_{min} определяется по значениям Gr , Pr , и Re . Если $Gr \cdot Pr \geq 10^9$ и $Re \geq 10^5$, то l_{min} определяется при условиях $Gr \cdot Pr = 10^9$ и $Re = 10^5$.

Определив значения l_{min} из выражений (3.2) и (3.3), выбирается один из них, кратный масштабу M в формуле (3.1), а по нему определяется промежуточная модель между моделью с минимальным характерным линейным размером и натурным образцом.

При этом условие теплообмена на обогреваемой поверхности ограждения F

для внешнего источника теплоты [33]:

$$\left[\frac{q \cdot \tau \cdot F}{(c \cdot \rho \cdot V_t)} \right]_M = \left[\frac{q \cdot \tau \cdot F}{(c \cdot \rho \cdot V_t)} \right]_H, \quad (3.4)$$

Условие теплообмена на необогреваемой поверхности ограждения:

$$(Bi \cdot Fo)_M = (Bi \cdot Fo)_H, \quad (3.5)$$

где Fo – критерий Фурье, $Fo = \frac{a \cdot t}{\delta^2}$.

Подобие теплофизических свойств материала модели и натуре определяется как:

$$\frac{c_M}{c_H} = const_1; \quad \frac{\rho_M}{\rho_H} = const_2; \quad \frac{\lambda_M}{\lambda_H} = const_3, \quad (3.6)$$

где c – теплоемкость материала модели (м) и натуре (н), Дж·кг⁻¹·К⁻¹;
 ρ – плотность материала модели (м) и натуре (н), кг·м⁻³.

Абсолютные значения этих констант влияют лишь на масштаб времени протекания процесса в модели. Материал модели в принципе может быть любым, но чтобы зависимости $\lambda=f(t)$, $c=f(t)$, $\rho=f(t)$ для модели и натуре были одинаковы. При оценке микроклимата по скорости выделения токсичных веществ горючие материалы модели и натуре должны быть идентичными.

Изготовление элементов ограждающих конструкций модели кабины автомобиля, их сборка представляют собой сложную технологическую задачу, а стоимость изготовления может превысить стоимость натуре. К примеру, модель кабины автомобиля, выполненная в масштабе 1:10, требует применения материалов толщиной порядка 0,1 мм, а лакокрасочных покрытий соответствующей толщины не существует. Поэтому при исследованиях основное

внимание уделялось полномасштабным натурным экспериментам, несмотря на их трудоемкость и большую стоимость.

Для обеспечения идентичности теплового воздействия на пожарный автомобиль модельного (м) и реального (н) пожаров необходимо выполнение ряда условий:

- равенство интегральных тепловых потоков;
- равенство начальных условий;
- равенство условий проведения эксперимента:

$$\int_{\tau_m} q_m \cdot d\tau \geq \int_{\tau_n} q_n \cdot d\tau; \quad (3.7)$$

$$Q_m \geq Q_n; \quad \tau_m \geq \tau_n; \quad T_{стм} \geq T_{стн}$$

Подобие конфигурации и состава падающего излучения обеспечить сложнее всего. Дело в том, что многие исходные параметры носят случайный характер: например, условия окружающей среды, герметичность салона автомобиля (положение стекол и дверей), пожарная нагрузка и т.п. Поэтому при испытаниях используется метод статистического моделирования [12,50,73], заключающийся в том, что из всей совокупности возможных значений исходных параметров выбирается одно из случайных сочетаний, и для него моделируется пожар. Повторение этой операции для других сочетаний дает возможность находить общие закономерности поведения кабины автомобиля в условиях теплового воздействия пожара.

3.2 Методика исследования теплового режима кабины

Достоинствами натурных испытаний на полномасштабных объектах являются достоверность имитации фактических случаев воздействия открытого пожара на автомобиль, совершенствование методов испытаний.

Для моделирования теплового воздействия открытого пожара на пожарный автомобиль использовался специальный стенд, разработанный в Высшей

инженерной пожарно-технической школе [30,33,35]. Основным конструктивным элементом испытательного стенда являются емкости с горючей жидкостью, образующие в плане П-образный контур вокруг площадки, на которой установлен объект испытаний (рисунок 3.1).

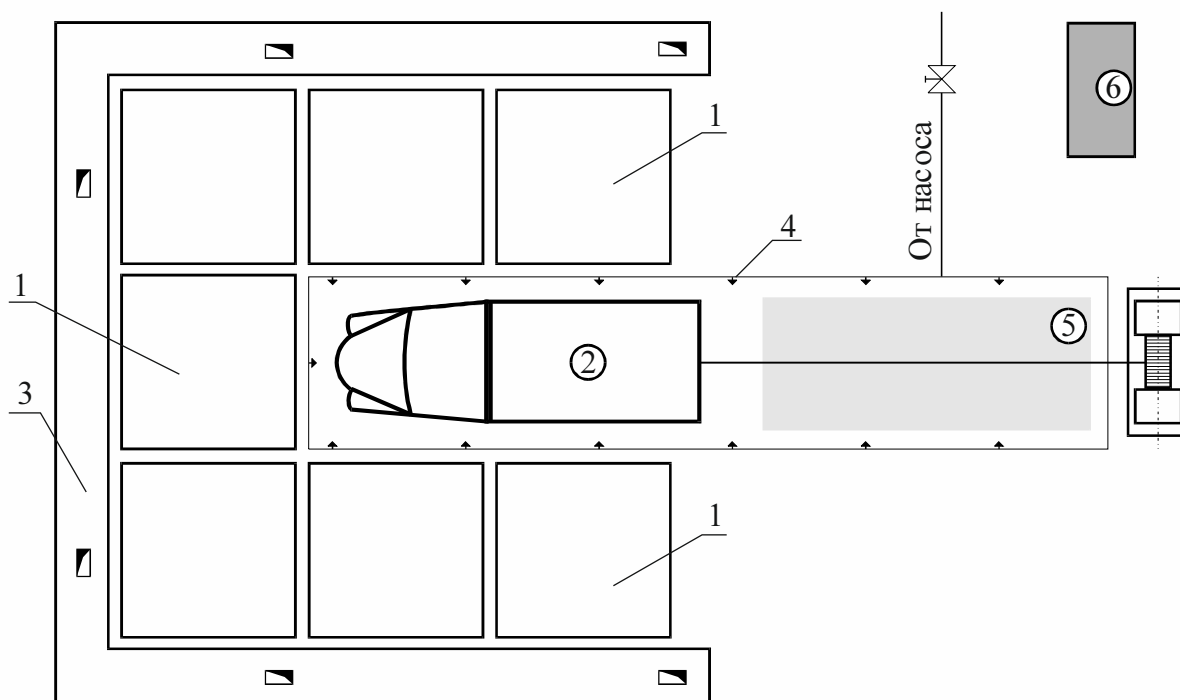


Рисунок 3.1. Стенд для проведения специальных огневых испытаний пожарной техники: 1 – емкости с горючей жидкостью; 2 – объект испытаний; 3 – промышленная канализация; 4 – система защиты автомобиля; 5 – участок тушения; 6 – пульт управления стендом

Для испытания средств активной тепловой защиты объекта стенд оборудован системой трубопроводов для подачи воды с возможностью установки оросителей (распылителей) различных типов.

В соответствии с усовершенствованной программой эксперимента воздействию теплового излучения подвергались:

- 1) передняя часть кабины автомобиля (рисунок 3.2 а) – подъезд к фронту пламени;
- 2) боковая сторона (рисунок 3.2 б) – объезд места пожара

3) две боковые стороны или одна сторона и передняя часть кабины (рисунок 3.2 в) – маневрирование в зоне теплового воздействия.

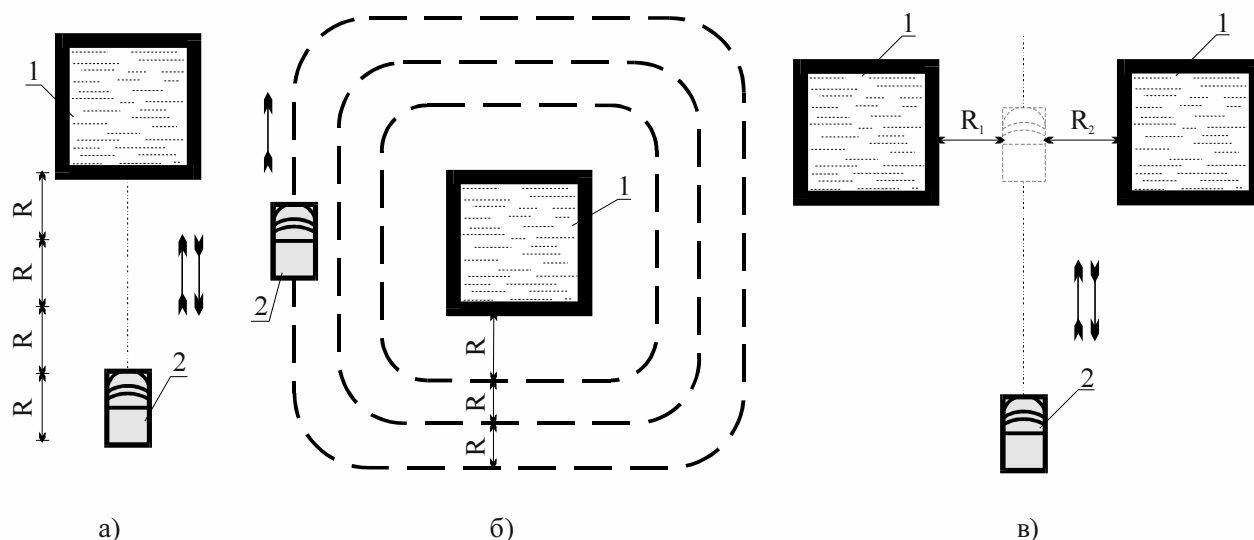


Рисунок 3.2. Схемы проведения испытаний пожарного автомобиля:
 а) подъезд к фронту пламени; б) объезд места пожара;
 в) маневрирование в зоне пожара. 1 – емкость с горючей жидкостью;
 2 – объект испытаний

Плотность потока теплового излучения регулировалась за счет изменения количества зажженных емкостей и расстояния R от автомобиля до фронта пламени.

Программа проведения специальных испытаний предусматривала два режима работы пожарного автомобиля: в стационарных условиях, когда он неподвижен относительно излучающей поверхности пламени; в движении автомобиля на скорости, при которой производится подача огнетушащих средств через стационарный лафетный ствол ($5\text{--}10 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$), с кратковременными остановками (на $10\text{--}15 \text{ с}$) и без них.

Для измерения температур поверхностей ограждения и воздуха в кабине использовались термографы М-16, электронные потенциометры КСП-4 с хромель-копелевыми термопарами, установленными в кабине автомобиля в соответствии с [30,35,87] (рисунок 3.3).

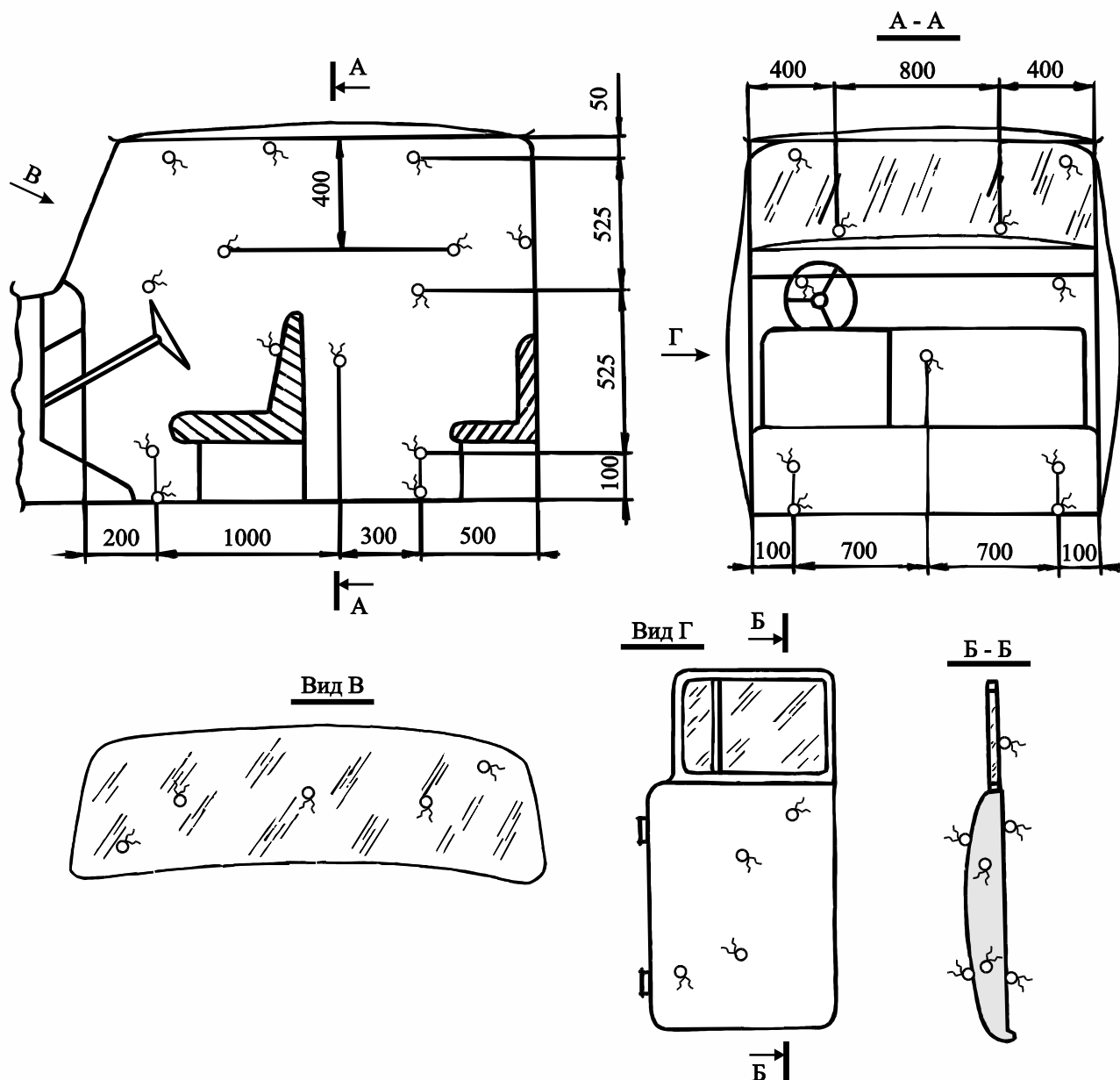


Рисунок 3.3. Схема размещения термодатчиков на поверхности и в объеме кабины пожарного автомобиля АЦ-40(130)63а

Температура каждого элемента ограждения определялась, как средняя по показаниям термодатчиков, установленных на этом элементе. Значение среднеобъемной температуры воздуха в кабине в каждый момент времени определялось по формуле:

$$T_V = V \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{V_i}{T_i} \right)^{-1}, \quad (3.8)$$

где T_V – среднеобъемная температура в кабине, °С;
 V – объем кабины, м³;
 V_i – объем, контролируемый одной термопарой, м³;
 T_i – температура в центре контролируемого объема, °С;
 n – число термопар.

Эксперимент проводился над полностью укомплектованным объектом исследования. Это требовалось для создания реальной пожарной нагрузки. Для оценки влияния на микроклимат возможных неисправностей перед испытанием обязательно проводился техосмотр автомобиля. В результате тепловых испытаний были получены температурные поля в элементах кабины автомобиля при воздействии теплового потока. Испытания заканчивались после того, как во всех элементах устанавливался равновесный (стационарный) температурный режим, либо происходило воспламенение конструкций.

Одновременно с измерением параметров микроклимата в кабине пожарного автомобиля производилось измерение метеорологических условий: наружной температуры, относительной влажности воздуха, скорости приземного ветра и его направления относительно испытательного стенда.

При проведении экспериментов принималась следующая последовательность работ:

- 1) установка автомобиля на площадку для испытаний;
- 2) проверка надежности работы измерительного оборудования;
- 3) измерение метеорологических и начальных параметров;
- 4) проверка готовности средств обеспечения опыта и защиты;
- 5) огневой опыт, видеозапись эксперимента, измерения;
- 6) окончание опыта, буксирование автомобиля из зоны теплового воздействия;
- 7) оценка изменений, происшедших в результате теплового воздействия.

При испытаниях особое внимание уделялось визуальным наблюдениям, которые осуществлялись специально подготовленными испытателями;

киносъемкой и фотосъемкой объекта исследования и источника теплового излучения. Для записи наблюдений использовались магнитофоны, включаемые одновременно при зажигании горючей жидкости в емкостях, при этом время совершения событий определялось по скорости записи и секундомеру. Характерные события и время их совершения записывались через микрофон: поджигание горючей жидкости; стабилизация размеров пламени; начало экспонирования автомобиля; начало пиролиза лакокрасочного покрытия кабины; загорание в кабине; загорание автомобиля и т.п. Визуальными наблюдениями в кабине автомобиля оценивались: пиролиз покрытий интерьера; место разрушения остекления; видимость из кабины и т.п.

Для повышения достоверности эксперимента некоторые опыты повторялись после устранения обнаруженных неполадок или изменений.

Во время экспериментов все работы выполнялись в средствах защиты органов дыхания и зрения. На месте эксперимента обязательно дежурила бригада скорой медицинской помощи [70].

Для обеспечения пожарной безопасности и тушения возможного пожара на площадке огневых испытаний организовывалось дежурство пожарно-спасательного подразделения [26,63,64].

3.3 Климатические воздействия на кабину автомобиля

Климатическим воздействиям подвергалась кабина пожарной автоцистерны АЦ-40(130)63а. При температуре окружающей среды $T_{\text{ср}} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и интенсивности прямой солнечной радиации $q_s = 0,9 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ в безветренную погоду температура воздуха в кабине через 30 мин достигла $67 \text{ }^{\circ}\text{C}$, температуры внутренних поверхностей боковой обогреваемой стенки и крыши составили соответственно $75 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и $79 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [30]. Таким образом, эксплуатация автомобилей семейства ЗИЛ без средств вентиляции в условиях жаркой климатической зоны невозможна.

Для оценки возможностей существующей системы вентиляции автором были проведены два эксперимента при различных температурах окружающей

среды, скорости ветра $V_B = 7-10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ и интенсивности солнечной радиации, воздействующей на крышу и боковую поверхность, $q_S = 0,95 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$. Результаты сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Влияние вентиляции кабины автомобиля на микроклимат в ней при различных температурах окружающей среды

Место замера температур	Температуры в кабине, °С		
	$T_{cp} = -5 \text{ °С}$	$T_{cp} = 22 \text{ °С}$	$T_{cp} = 45 \text{ °С}$
Включенная система вентиляции			
Внутренняя поверхность двери	6	34	61
Внутренняя поверхность крыши	7	35	64
Воздух в кабине	5	32	59
Отключенная система вентиляции			
Внутренняя поверхность двери	10	34	53
Внутренняя поверхность крыши	11	36	56
Воздух в кабине	8	32	51

Как видим, при температуре окружающей среды, меньшей, чем начальная температура ограждающих конструкций кабины, при отключении системы вентиляции происходит незначительное повышение температур в кабине, которое уменьшается с уменьшением разности между температурой окружающей среды и начальной температурой ограждений кабины. При температуре окружающей среды выше, чем температура ограждений кабины, наоборот, происходит некоторое снижение температур в кабине при отключении системы вентиляции. Причем это повышение (понижение) весьма незначительное и напрямую связано с производительностью системы вентиляции автомобиля [47]. Таким образом, систему вентиляции нецелесообразно использовать при очень низких или очень высоких температурах окружающего воздуха.

Одним из способов защиты кабин автомобилей от солнечной радиации является окраска поверхностей в светлые тона. Этот способ рекомендуется, в частности, для сельскохозяйственной и строительной техники [38,47]. Для оценки эффективности такого способа кабина серийного грузового автомобиля ЗИЛ-131 (темно-зеленого цвета) подвергалась воздействию прямой солнечной радиации

интенсивностью $q_s = 1,2 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ при температуре окружающей среды $T_{\text{ср}} = 36 \text{ }^\circ\text{C}$ и скорости приземного ветра $V_b = 5\text{--}7 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Температура воздуха в кабине при неработающей системе вентиляции и закрытых вентиляционных каналах достигла $57 \text{ }^\circ\text{C}$. Внутренняя поверхность крыши кабины прогрелась до $65 \text{ }^\circ\text{C}$. Затем кабина была полностью перекрашена алюминиевой краской КО-815 (ГОСТ 11066-64). После аналогичного теплового воздействия температуры воздуха в кабине и обогреваемой крыши составили соответственно $49 \text{ }^\circ\text{C}$ и $54 \text{ }^\circ\text{C}$. Таким образом, понижение степени черноты обогреваемой поверхности путем изменения цвета окраски позволило снизить температуру стенки на 22 %, воздуха – на 11 %.

Для оценки эффективности имеющейся системы отопления кабины пожарная автоцистерна АЦ-40(131)137 подвергалась испытанию в зимний период при температуре окружающего воздуха $T_{\text{ср}} = -28 \text{ }^\circ\text{C}$, скорости ветра $V_b = 20 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ и полном отсутствии солнечной радиации (ночью). Для испытаний был выбран самый неблагоприятный вариант – неработающий двигатель автомобиля, то есть отключенная система отопления кабины. Через 60 мин испытания температура воздуха в кабине опустилась до $-25 \text{ }^\circ\text{C}$. При включенной отопительной установке О-15 [55] средняя температура воздуха в кабине не опускалась ниже $+14 \text{ }^\circ\text{C}$, а при работающем двигателе, системе отопления и отопительной установке О-15 – $+32 \text{ }^\circ\text{C}$. Аналогичный эксперимент с автоцистерной северного исполнения АЦС-40(131С)153а показал соответственно $-22 \text{ }^\circ\text{C}$, $+21 \text{ }^\circ\text{C}$ и $+39 \text{ }^\circ\text{C}$. Следовательно, имеющиеся на серийных пожарных автомобилях системы отопления (в том числе дополнительные) в состоянии обеспечить комфортные микроклиматические условия в кабине и салоне боевого расчета пожарного автомобиля в зимний период в любом климатическом поясе СНГ.

3.4 Исследование теплового воздействия пожара на боковую поверхность кабины

Исследования параметров микроклимата в кабине автомобиля при воздействии тепловых потоков пожара производились на пожарной автоцистерне

АЦ-40(130)63а при температуре окружающей среды $T_{cp} = 38\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорости ветра $V_B = 1-5\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ [30,35].

Величина мощности падающего теплового потока в экспериментах выбиралась произвольно. При каждом ее значении проводилось по три опыта, основное внимание при этом уделялось поддержанию равенства и постоянства тепловых потоков (рисунок 3.4).

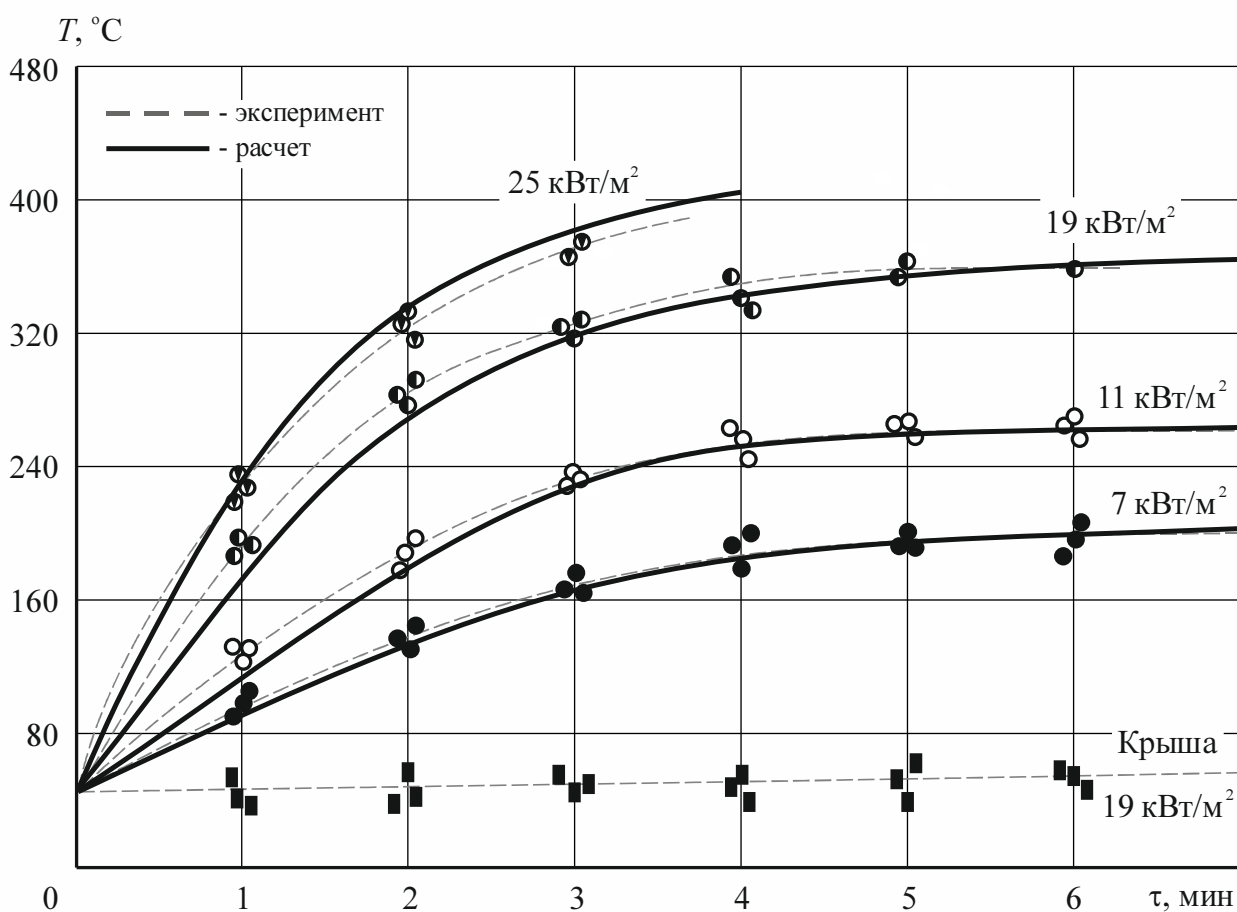


Рисунок 3.4. Изменение температуры наружной поверхности облучаемой двери кабины пожарного автомобиля (до момента воспламенения лакокрасочного покрытия). Для сравнения показано изменение температуры крыши

При тепловом воздействии мощностью $7\text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ температура обогреваемой стенки за все время эксперимента не превышала $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Лакокрасочное покрытие местами потемнело без отслаивания и разложения. Температура воздуха в кабине

достигла 69 °С. Никаких внешних повреждений при осмотре кабины после опыта выявлено не было.

Воздействие теплового потока интенсивностью 11 кВт·м⁻² вызвало испарение и местное обугливание лакокрасочного покрытия уже через 110–125 с от начала экспозиции (в различных опытах). Видимый фронт паров имел толщину 0,2 м. Температура обогреваемой поверхности через 180 с достигла 235 °С и в дальнейшем повысилась незначительно (до 255–260 °С). Температура воздуха внутри кабины составила 91 °С. Внутренняя поверхность обогреваемой стенки прогрелась до 180 °С. Неравномерность нагрева остекления в различных точках не превышала 36 °С при средней температуре его наружной поверхности 263 °С.

Тепловое воздействие мощностью 19 кВт·м⁻² привело к интенсивному испарению и термическому разложению лакокрасочного покрытия. Примерно на 80 с образовался фронт паров лакокрасочного покрытия средней толщиной по горизонтали 0,5 м. Выделение паров продолжалось в течение 210–240 с, затем прекратилось. Температура поверхности стенки к этому моменту достигла 360 °С и в дальнейшем практически не изменялась до конца опыта. На 320–350 с разрушились стекла в обогреваемых дверях кабины, и началось видимое тление элементов интерьера. В одном из опытов на 315 с произошла вспышка паров лакокрасочного покрытия с быстрым распространением пламени на крышу и интерьер кабины. Осмотр кабины после окончания экспериментов показал, что лакокрасочное покрытие на обогреваемой стенке выгорело полностью, полностью выгорели также войлочные уплотнения стекол в дверях. Стеклоподъемники дверей заклинили в результате деформации направляющих стекол. Других видимых деформаций дверей выявлено не было, открывались и закрывались двери нормально. Под воздействием высокой температуры внутри кабины произошли местные повреждения элементов интерьера: окрашенные поверхности стенок потемнели и частично обуглились, дерматиновое покрытие сидений оплавилось и расслоилось, поролон из спинок сидений расплавился и вытек на пол кабины.

При воздействии теплового потока мощностью $25 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ разрушение остекления произошло через 70–100 с после начала опыта. Неравномерность температур на поверхности стекла на этот момент составляла около $120 \text{ }^\circ\text{C}$, а температурный градиент по толщине – $76 \text{ }^\circ\text{C}$. Через 170–190 с произошло воспламенение паров лакокрасочного покрытия. Горение распространилось по всему интерьеру кабины. Средняя температура наружной поверхности обогреваемой стенки составила $410\text{--}425 \text{ }^\circ\text{C}$, в верхней части кабины и на крыше – $650\text{--}700 \text{ }^\circ\text{C}$. Осмотр кабины после ликвидации горения выявил сильные температурные деформации дверей, препятствующие их открыванию. Лакокрасочное покрытие боковой стенки и крыши сгорело полностью. На металлических поверхностях ясно различались «цвета побежалости». Кабина автомобиля стала полностью непригодной к дальнейшей эксплуатации.

Такие высокие температуры во время экспериментов характерны лишь для обогреваемой стенки. Необогреваемые стенки нагреваются незначительно. Для иллюстрации этого при тепловом потоке $19 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ производилось измерение температуры крыши кабины, которая по условиям эксперимента не подвергалась тепловому воздействию. Максимальная температура крыши не превышала $75 \text{ }^\circ\text{C}$, почти на 79 % ниже температуры обогреваемой стенки (см. рисунок 3.4).

При мощности падающего теплового потока более $25 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ разрушение остекления кабины происходило через 30–36 с и воспламенение интерьера через 35–40 с.

Таким образом, предел огнестойкости ограждений кабины автомобиля ЗИЛ при малых тепловых потоках определяется временем прогрева конструкций до предельных температур, а при больших тепловых потоках – временем до разрушения остекления.

По условиям проведения экспериментов автором производилось численное моделирование теплового воздействия пожара по предложенной математической модели. Результаты моделирования для сопоставления нанесены на соответствующие экспериментальные точки. Как видим (см. рисунок 3.4),

результаты отличались всего на 4–17 %, то есть предложенная математическая модель обеспечивает достаточную для инженерных расчетов точность. При этом наибольшее расхождение в результатах отмечалось на участке нестационарного режима теплопередачи. Это может объясняться допущениями, которые были приняты при математическом моделировании (в первую очередь игнорирование величин G_B и G_T в выражениях 2.18 и 2.19).

Кроме исследования параметров микроклимата экспериментально была проверена эффективность экранирования кабины автоцистерны (экран в воздушных прослойках стенок и экран на остеклении). Экран в воздушных прослойках дверей и боковых стенок кабины автоцистерны АЦ-40(130)63а представлял собой лист войлока толщиной 10 мм с наклеенным на обе его стороны альфолем толщиной 0,05 мм. На остекление кабины была наклеена алюминизированная полиэтилентерефталатная пленка ПЭТФ-ОАД.

Серийный пожарный автомобиль и автомобиль с экранами подвергались воздействию тепловых потоков при температуре окружающей среды 30 °С и скорости ветра, не превышающей $V_B = 1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Результаты исследований приведены на рисунке 3.5 [30,35].

В ходе экспериментов средняя температура воздуха в кабине автомобиля с теплозащитой при тепловом потоке $11 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ не превысила 36 °С, и даже при максимальном уровне теплового потока не превысила 48 °С, температуры внутренних поверхностей стенки и стекла при этом составили соответственно 72 °С и 78 °С.

Как видим, достаточно простые теплозащитные средства позволили снизить температуру воздуха в кабине почти на 55 %.

Несмотря на высокую теплозащитную эффективность теплоотражательные экраны такого типа имеют свои недостатки. В первую очередь это касается полиэтилентерефталатной пленки. По приблизительным субъективным оценкам освещенность в кабине при наклеивании пленки на стекла снизилась в 4–5 раз. Кроме того, при испытании автомобиля тепловым потоком $35 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ пленка на

стеклах быстро начала темнеть и плавиться. В результате этого через 580–620 с от начала эксперимента наблюдался постепенный рост температуры стекол и воздуха в кабине

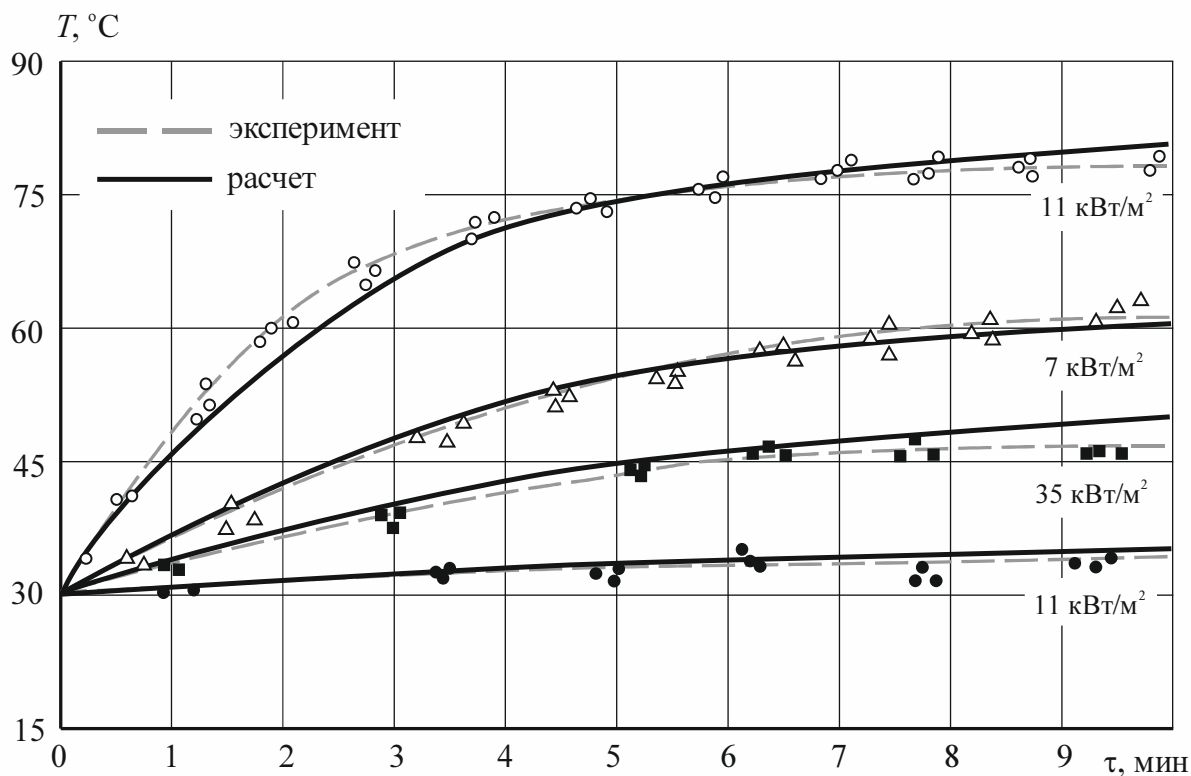


Рисунок 3.5. Изменение температуры воздуха на уровне головы водителя в кабине пожарного автомобиля без средств защиты (светлые точки) и с экранированием кабины (темные точки)

Экран в воздушной прослойке свободен от указанных недостатков, однако он технологически труднее устанавливается и закрепляется. Кроме того, использование теплоотражательного экрана в воздушных прослойках конструкций приводит к ухудшению общей теплоотдачи от наружной стенки конструкции внутрь. В экспериментах это привело к повышению температуры наружной поверхности дверей на 10–15 % и более интенсивному выгоранию лакокрасочного покрытия.

При численном моделировании теплового воздействия теплозащитные средства моделировались следующим образом: тепловая защита в прослойке

моделировалась как два теплоотражательных экрана со степенью черноты поверхности $\varepsilon = 0,05$ с помещенным между ними слоем теплоизоляции; остекление с экраном считалось обыкновенным стеклом, но со степенью черноты $\varepsilon = 0,1$ и коэффициентом пропускания излучения $D = 0$.

Расхождение результатов численных расчетов с экспериментальными данными не превышало 10 % (см. рисунок 3.5).

3.5 Тепловое воздействие пожара на две боковые поверхности кабины автомобиля

Для исследования параметров микроклимата в кабине при двустороннем тепловом воздействии автором был проведен специальный эксперимент с грузовым автомобилем ЗИЛ-157. В этих испытаниях кабина подвергалась тепловому воздействию с двух сторон, причем мощность теплового потока от каждого источника изменялась на протяжении эксперимента. Средняя температура окружающей среды во время испытаний составляла $T_{\text{ср}} = 22$ °С, скорость ветра $V_{\text{в}} = 5\text{--}10$ м·с⁻¹, направление ветра перпендикулярно на правый борт машины.

Для численного моделирования изменяющегося во времени теплового потока использовалась кубическая сплайн-интерполяция [93,94]. Значение мощности теплового потока в каждый момент времени определялось по формуле:

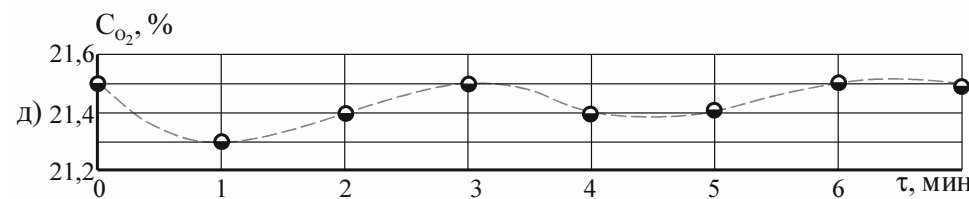
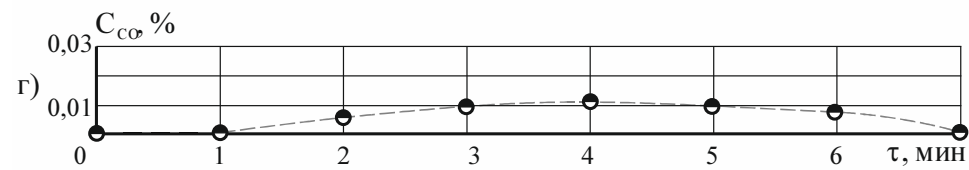
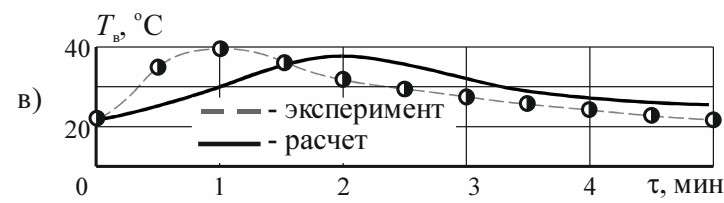
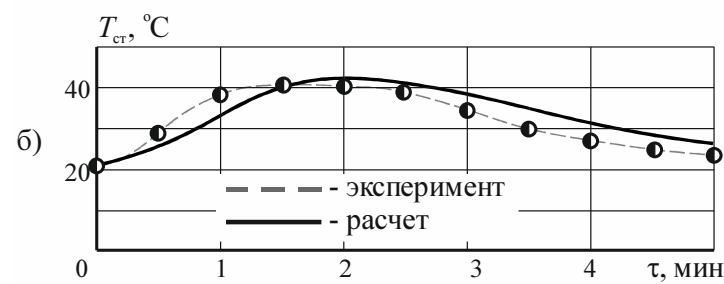
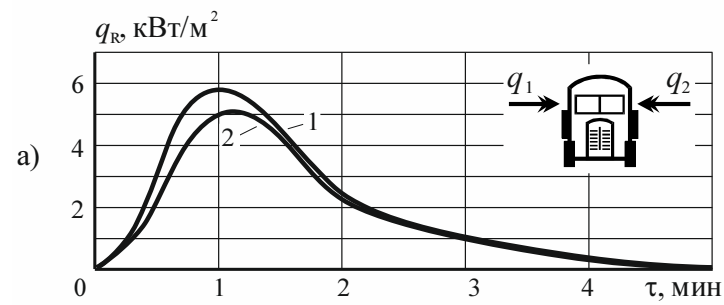
$$q(\tau + \Delta\tau) = q(\tau) + B \cdot \Delta\tau + C \cdot \Delta\tau^2 + D \cdot \Delta\tau^3,$$

где B, C, D – коэффициенты кубического сплайна.

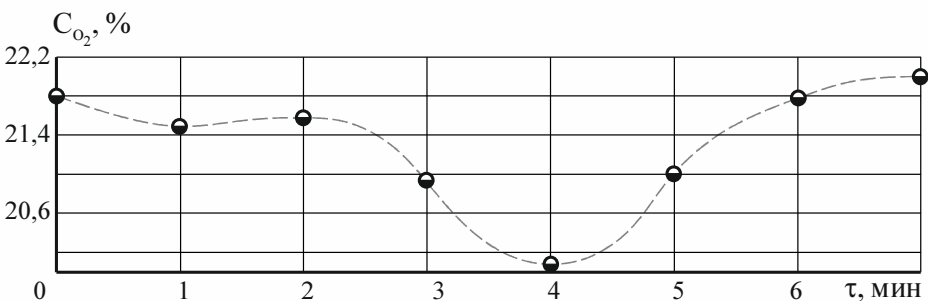
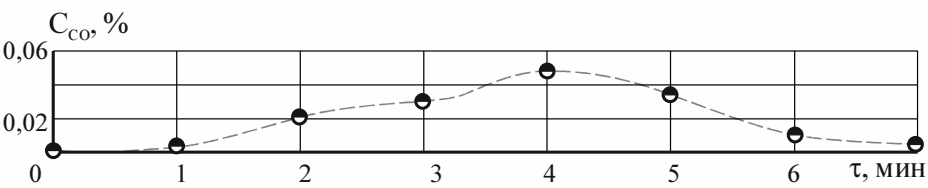
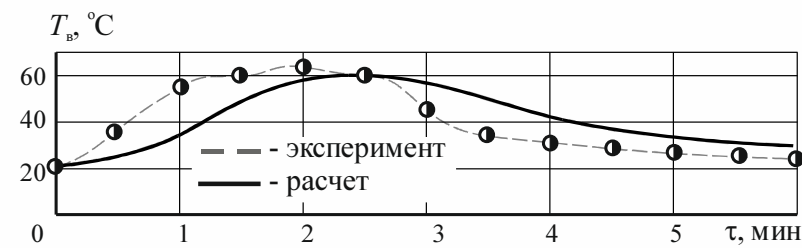
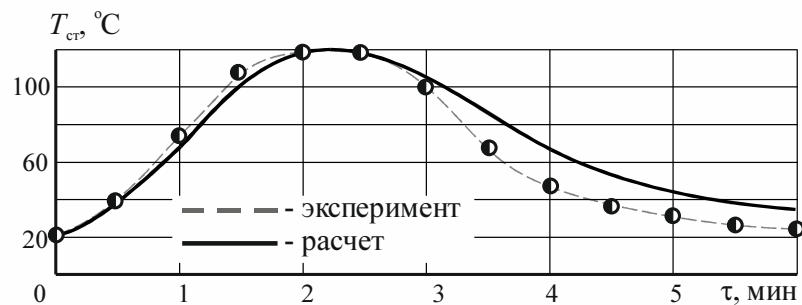
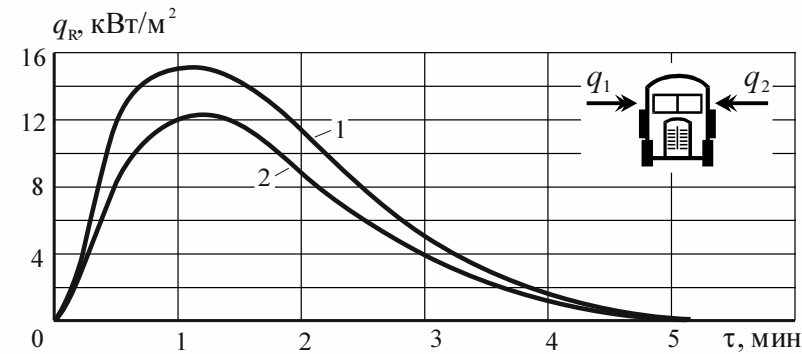
Одновременно с измерением тепловых параметров микроклимата в кабине в экспериментах производились измерения концентрации оксида углерода C_{CO} и концентрации кислорода C_{O_2} внутри кабины.

Результаты экспериментов представлены на рисунке 3.6.

Опыт 1



Опыт 2



Опыт 3

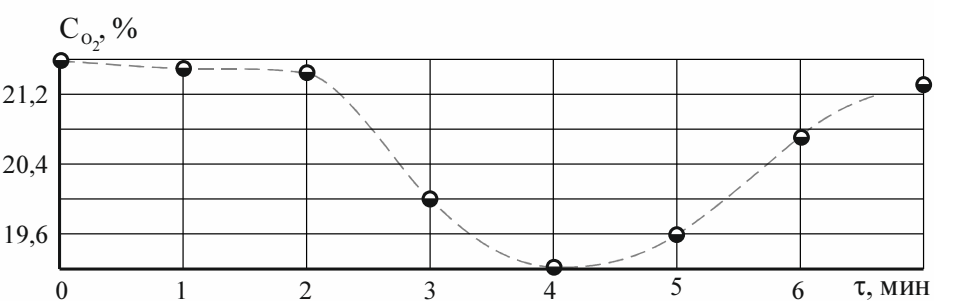
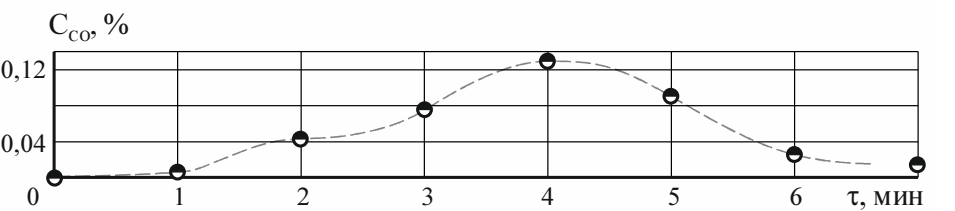
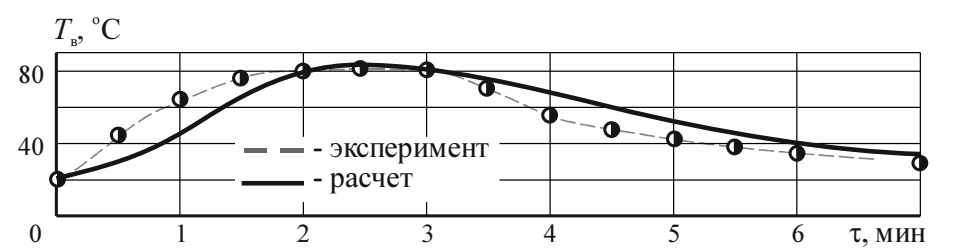
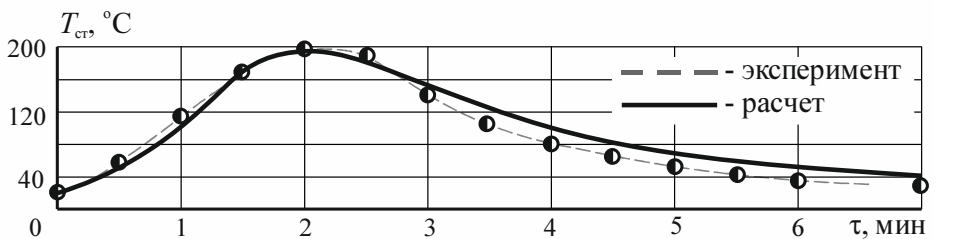
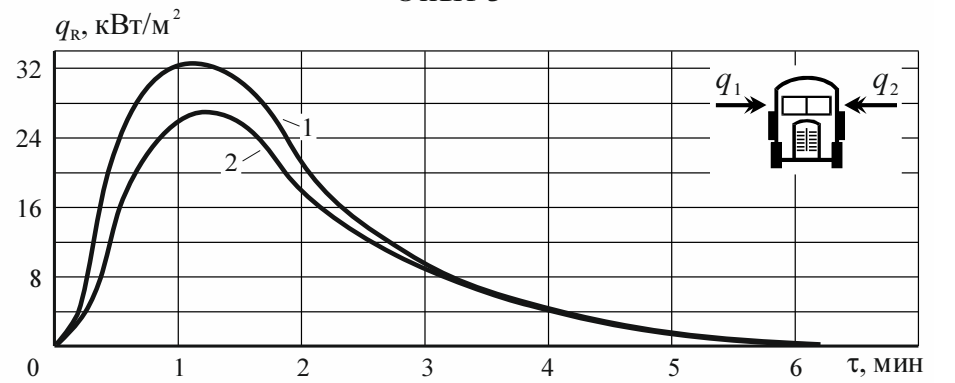


Рисунок 3.6. Параметры теплообмена кабины ЗИЛ-157 с окружающей средой при двустороннем тепловом воздействии и изменяющемся тепловом потоке:

а) падающий на стенки тепловой поток: 1 – на правую стенку; 2 – на левую стенку; б) температура наружной поверхности правого остекления; в) температура воздуха в кабине; г) концентрация оксида углерода в кабине; д) концентрация кислорода в кабине

Как видим, максимальные значения параметров при эксперименте и численном моделировании практически совпадают, однако результаты моделирования запаздывают относительно данных опыта. Кроме того, остывание кабины происходит быстрее, чем показывает модель. Общее расхождение экспериментальных и расчетных данных достигает 22 %. Это происходит потому, что модель не учитывает поступление и уход воздуха через неплотности в ограждающих конструкциях кабины (G_v и G_r в выражениях 2.18 и 2.19).

Испытания показали, что концентрация оксида углерода достигает предельного значения [83] лишь при очень больших интенсивностях тепловых потоков, а концентрация кислорода во всех опытах не опускалась до опасного уровня (см. рисунок 3.6). Таким образом, определяющими для безопасного микроклимата в кабине являются именно тепловые параметры среды.

3.6 Тепловое воздействие пожара на лобовое стекло кабины

При испытаниях пожарная автоцистерна модели АЦ-40(130)63а подвергалась тепловому воздействию с фронтальной стороны.

Значения мощности теплового потока за время испытаний изменялись в пределах $8,5-5,5 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$. Расстояние от источника теплового излучения до автомобиля постепенно увеличивалось от 7,5 до 11,5 м. Ветер средней скоростью $2-3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ имел направление от автомобиля к источнику теплового излучения.

В ходе эксперимента также проводились испытания эффективности водяного орошения как средства активной тепловой защиты. Для этого был использован ствол РС-70 с насадком-распылителем щелевого типа РВ-12, расположенный между автомобилем и факелом пламени. Распылитель создавал сплошную водяную завесу высотой в средней части 7 м и шириной до 25 м при давлении воды в линии 0,5–0,6 МПа.

В процессе испытания производились измерения температур лобового

стекла, воздуха на уровне головы и ног в кабине водителя и салоне боевого расчета. Результаты исследований приведены на рисунке 3.7 [24].

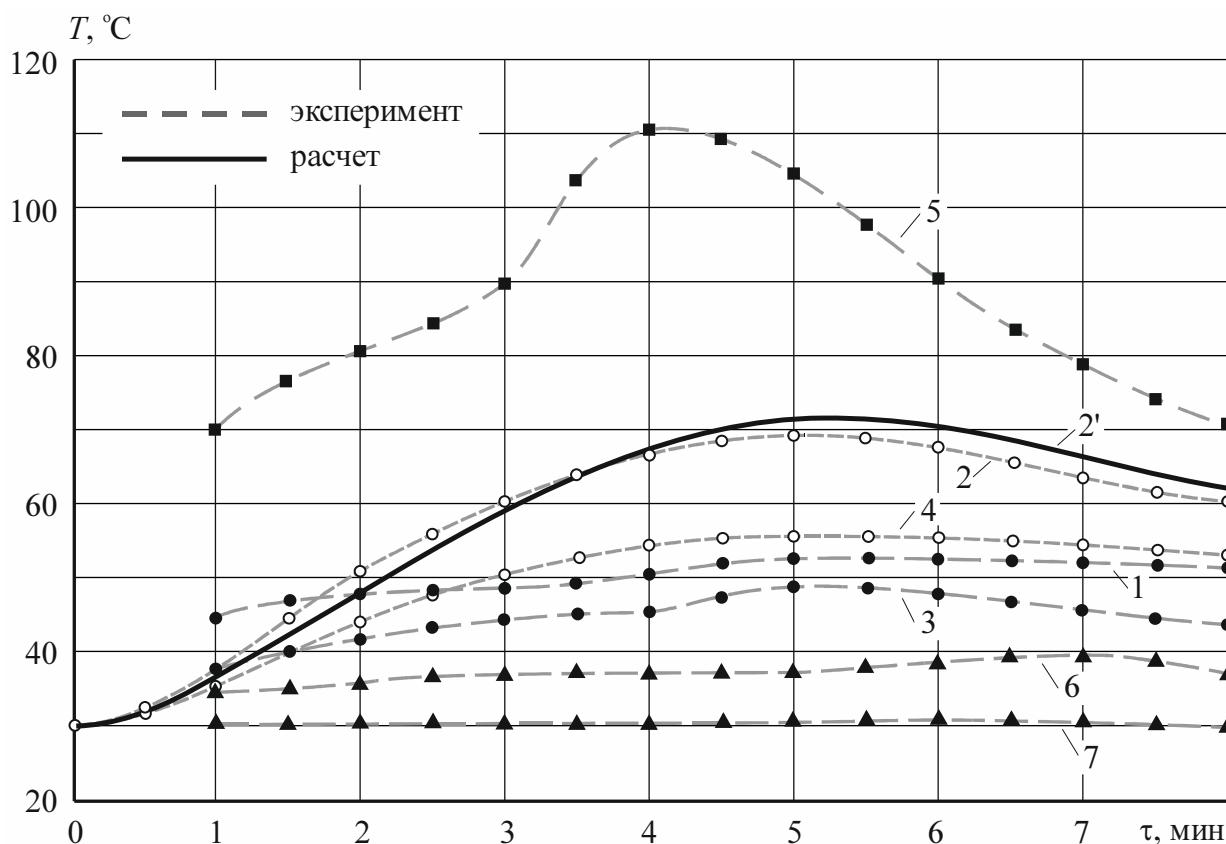


Рисунок 3.7. Изменение температуры в различных точках кабины пожарного автомобиля без средств защиты (светлые точки) и с водяным орошением кабины (темные точки): 1, 2 – на уровне головы в кабине водителя; 3, 4 – на уровне головы в салоне боевого расчета; 5 – на лобовом стекле; 6 – на уровне ног в кабине водителя; 7 – на уровне ног в салоне боевого расчета

Максимальное значение температуры воздуха в кабине за весь период теплового воздействия составило 53°C на уровне головы в кабине водителя и 49°C на уровне головы в салоне боевого расчета. Суммарное тепловое излучение внутри кабины не превышало $1,1 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$.

По окончании испытания был проведен осмотр автомобиля, который выявил следующие внешние изменения:

- поверхность кабины автомобиля покрылась каплями несгоревшего мазута, лакокрасочное покрытие стенок не пострадало;

- боковые повторители указателей поворота подверглись незначительной пластической деформации, что также не нарушило их работоспособности.

При тех же внешних условиях без водяного орошения воздух в кабине водителя автомобиля нагрелся до 68°C , а в салоне боевого расчета – до 56°C (см. рисунок 3.7). Таким образом, применение активной тепловой защиты кабины автомобиля привело к снижению средней температуры воздуха в кабине на 12–23 %.

Расхождение результатов математического моделирования с данными эксперимента не превысило 6 %.

3.7 Методика оценки погрешности измерения параметров микроклимата

Погрешность измерения – это отклонение результата измерения от истинного значения определяемой величины. В зависимости от закономерности проявления погрешности измерения подразделяют на грубые, систематические и случайные.

При математическом моделировании грубые ошибки могут появляться при неправильном выборе численного метода решения. Величина систематической погрешности зависит от выбранного метода и определяется ошибками округления при вычислениях [23,93,94]. Случайные ошибки связаны со сбоями в работе вычислительной техники и при исправной системе диагностики не появляются.

Таким образом, основные ошибки появляются при измерении параметров в ходе эксперимента.

Для избежания грубых и систематических ошибок перед началом экспериментальных исследований проверялось соответствие показаний измерительных приборов их паспортным характеристикам. Все изготовленные

термопары перед началом работы проверялись на соответствие градуировочным таблицам.

Для измерения суммарного теплового потока, воспринимаемого поверхностью ограждений, применялись радиометры РОП-1 с термоэлектрическими датчиками ДТП-04, ФОА с пределом измерения до $125 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$. Датчики имеют погрешность градуировки до 2 %, измерительный цифровой прибор Щ-4310, используемый в комплекте с ними, – 0,5 %. Таким образом, суммарная систематическая погрешность измерения с учетом неточности установки радиометров не превышает 3,5 %.

Поглощаемые обогреваемой поверхностью тепловые потоки также определялись по методике, изложенной в [27] (по изменению температур наружной и внутренней поверхностей стенки). Результаты отличались от непосредственно измеренных радиометрами на 4–6 %.

Для измерения температур поверхностей ограждений и воздуха в кабине использовались термографы М-16 и электронные потенциометры КСП-4 с хромель-копелевыми (ХК) термопарами. Погрешность измерения термографом М-16 не превышает 2 %. Погрешность градуировки ХК-термопар не превышает 1,1 %, погрешность измерения потенциометром КСП-4 равна 1,3 %. Отсюда суммарная систематическая погрешность измерения температур составляет 2,5 %.

Измерение скорости движения воздуха производилась крыльчатым анемометром АСО-3 с погрешностью 2,5 %.

Таким образом, погрешности измерения основных микроклиматических параметров не превышают значений, допускаемых нормативными документами [18], следовательно измерительная база позволяла получить достоверные и повторяемые экспериментальные результаты.

Для обеспечения заданной точности производилось несколько измерений и по их результатам определялась абсолютная погрешность (разность между измеренным текущим значением a_i , полученным в результате эксперимента, и

истинной величиной \bar{a}):

$$\Delta a_i = a_i - \bar{a}$$

Для оценки величины случайной ошибки измерения по формуле Бесселя определялась средняя квадратичная ошибка:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}{n \cdot (n-1)}},$$

где \bar{a} – среднее значение измеренного значения;

a_i – i -е показание измерительного прибора;

n – число измерений.

Так как число измерений в опытах недостаточно велико ($n \ll 20$), достоверность среднего результата измерения определялась и использованием формулы распределения Стьюдента:

$$a = \bar{a} - \frac{a_i}{\sigma_{\bar{a}}},$$

где

$$\sigma_{\bar{a}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Вероятность того, что величина a находится в доверительном интервале, удовлетворяющем заданной достоверности, определялась из выражения:

$$p = 2 \cdot \int_0^{a_p} \sigma(a, k) \cdot da,$$

где $k = n - 1$ – количество степеней свободы в распределении Стьюдента.

Функция $\sigma(a, k)$ описывается выражением:

$$\sigma(a, k) = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot k}} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{(k+1)}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} \cdot \left(1 + \frac{a^2}{k}\right)^{-\frac{k+1}{2}}$$

Для вычисления p использовались таблицы интегралов Стьюдента из справочной литературы [73].

Следуя изложенному подходу, при проведении исследований производилось 5–6 тарировочных измерений и 3 измерения непосредственно в ходе экспериментов. По результатам этих измерений вычислялась относительная погрешность для заданной достоверности 0,95.

Выводы по главе 3

1. Усовершенствованы методики экспериментального исследования процесса теплового воздействия открытого пожара на кабину автомобиля. Программа натуральных испытаний дополнена вариантами воздействия теплового потока одновременно на две боковые стороны или на боковую и переднюю часть кабины. Для обеспечения достоверности результатов исследования проводились с использованием методики рационального планирования эксперимента.

2. При проведении полномасштабных натуральных экспериментов исследовано влияние открытого пожара на параметры микроклимата в кабине автомобиля и эффективность ее теплозащитных средств. Экспериментально установлено, что определяющими параметрами безопасного микроклимата в кабине пожарного автомобиля являются тепловые параметры.

3. Результатами экспериментов подтверждена высокая эффективность применения пассивных средств тепловой защиты кабины автомобиля: путем

экранирования ограждающих конструкций кабины достигается снижение температуры воздуха в ней почти на 55 %.

4. Доказана эффективность активной тепловой защиты кабины путем водяного орошения: снижение температуры воздуха в кабине достигает 12–23 %. Однако, применение водяного орошения пожарного автомобиля становится проблематичным при его мобильном использовании (без установки автомобиля на водоисточник).

5. С учетом условий натуральных испытаний выполнен расчет параметров микроклимата в кабине по предложенной математической модели. Проведено сравнение экспериментальных данных с результатами расчетов. Расхождения не превышают 12–17 % – для стенок кабины и 15–22 % – для остекления, что обосновывает возможность с достаточной степенью точности проводить исследование эффективности средств тепловой защиты путем математического моделирования.

ГЛАВА 4

**ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОГО
МИКРОКЛИМАТА В КАБИНЕ ПОЖАРНОГО АВТОМОБИЛЯ**

Существуют два основных направления обеспечения безопасного микроклимата в кабине автомобиля в зоне интенсивного теплового воздействия: применение дополнительной системы вентиляции и кондиционирования воздуха; использование дополнительных средств тепловой защиты ограждающих конструкций кабины.

В свою очередь теплозащитные средства делятся на активные и пассивные. Активная тепловая защита представляет собой принудительное снижение температуры наружных поверхностей кабины путем водяного орошения и снижение интенсивности теплового излучения пожара путем создания водяных завес. Пассивная тепловая защита – это применение специальных средств, препятствующих проникновению высокой температуры и теплового потока внутрь кабины.

Основными критериями выбора способов тепловой защиты являются мощность излучения на пожаре и характер использования пожарного автомобиля.

**4.1. Использование систем вентиляции и кондиционирования для
поддержания безопасного микроклимата в кабине**

Система вентиляции кабины серийного автомобиля не обеспечивает безопасный температурный режим в ней при мощном тепловом воздействии без дополнительной системы кондиционирования воздуха. Необходимая производительность системы кондиционирования определяется величиной теплового воздействия на кабину и требованиями к параметрам микроклимата в ней, причем это утверждение справедливо лишь при небольших величинах

теплового потока. Дело в том, что снижение температуры среды внутри кабины обеспечивается путем повышения температурного градиента по толщине элементов ограждений, что является весьма опасным фактором для остекления: при увеличении температурного градиента до критической величины происходит разрушение стекла. Экспериментально определено, что для кабины автомобиля ЗИЛ максимальным тепловым потоком, при котором еще не происходит разрушения остекления, является $7-8 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ [30].

Для поддержания комфортных условий в кабине при таком уровне теплового воздействия требуется холодопроизводительность кондиционера примерно $3,2 \text{ кВт}$ [60]. Современный фреоновый кондиционер такой производительности имеет массу около 20 кг , объем $0,1 \text{ м}^3$ и потребляемую мощность 3 кВт [47]. Кондиционер придется устанавливать в моторном отсеке автомобиля и выполнять привод от двигателя автомобиля, либо в отсеке для оборудования и выполнять привод от отдельного двигателя (вероятнее всего электродвигателя).

Оба эти варианта имеют существенные недостатки. Размещение кондиционера в моторном отсеке возможно только для вновь разрабатываемых автомобилей. Для питания приводного электродвигателя подобной мощности необходимо будет устанавливать дополнительный электрогенератор – снова-таки в моторном отсеке. Кроме того, размещение кондиционера в отсеке для оборудования приведет к уменьшению запаса вывозимых огнетушащих средств.

Подключение кондиционера (или электрогенератора) создаст значительную дополнительную нагрузку на двигатель автомобиля. Поэтому размещение такого кондиционера в пожарном автомобиле нецелесообразно.

Другим способом вентиляции кабины, позволяющим поддерживать безопасные микроклиматические условия на рабочем месте, является воздушное душирование.

Для обеспечения воздушного душирования на рабочих местах экипажа

серийных пожарных автомобилей необходим кондиционер, обеспечивающий подачу $595\text{--}600\text{ м}^3\cdot\text{ч}^{-1}$ охлажденного до температуры $+18\text{ °C}$ воздуха [16,56,89,114]. Холодопроизводительность кондиционера для данного случая, рассчитанная по формуле (2.4), составляет $3,8\text{--}4,1\text{ кВт}$. Таким образом, полученное значение холодопроизводительности больше, чем требуется для кондиционирования воздуха в объеме кабины. Это объясняется тем, что для кабины автомобиля душируемые рабочие места занимают практически весь объем, поэтому подача такого количества охлажденного воздуха приведет к снижению температуры воздуха во всей кабине до величины, гораздо меньшей, чем требуемая по условиям комфортности [97].

Такая большая степень охлаждения воздуха приведет к еще большему градиенту температуры по толщине стекла, следовательно разрушение остекления произойдет при еще меньших тепловых потоках, чем в случае кондиционирования воздуха в объеме кабины. Таким образом, воздушное душирование также является неприемлемым способом поддержания безопасных микроклиматических условий в кабине автомобиля на пожаре.

Оборудование кабины автомобиля кондиционером возможно только для вновь изготавливаемых пожарных автомобилей (что вызовет увеличение их стоимости и трудозатрат на техническое обслуживание). Пожарные автомобили, которые эксплуатируются в настоящее время, и еще длительное время будут использоваться подразделениями МЧС, кондиционеров не имеют, и никогда иметь не будут.

Поэтому единственным приемлемым средством поддержания безопасного микроклимата в кабине пожарного автомобиля являются дополнительные теплозащитные средства.

4.2. Водяное орошение кабины для защиты от теплового излучения

Водяное орошение как средство активной тепловой защиты имеет безусловно высокую эффективность.

Как указывалось ранее в параграфе 3.6, водяное орошение при воздействии теплового излучения пожара позволило снизить температуру воздуха в кабине на 12–23 %. Однако за 8 минут эксперимента на орошение кабины было израсходовано около 5,5 м³ воды (при объеме воды, вывозимой на испытываемой автоцистерне – 2,1 м³).

Использование водяного орошения для теплозащиты автомобиля газодлягасного тушения АГВТ-100(131)141 при работе в непосредственной близости к горящему нефтяному (газовому) фонтану осуществляется орошением водой топливного бака и колес с расходом 12–18 л·с⁻¹ [26,64,106]. За нормативное время работы АГВТ-100 расходуется воды на подачу в огнетушащую струю 54 т, а на тепловую защиту – 13,5 т (20 % общего расхода воды).

Следовательно, активная тепловая защита целесообразна лишь при стационарной работе на водоисточнике, когда имеется избыток воды и имеется возможность использования ее на охлаждение автомобиля. Для мобильного использования пожарных автомобилей активная тепловая защита оказывается проблематичной и должна заменяться пассивной. Также невозможна активная тепловая защита автомобилей, основным огнетушащим веществом которых является не вода: например, автомобилей порошкового тушения.

4.3. Применение пассивной тепловой защиты для обеспечения безопасности спасателей в кабине автомобиля

При правильном применении пассивная тепловая защита является достаточно эффективным средством. Она позволяет увеличить время боевой работы в зоне воздействия теплового излучения, повысить безопасность личного состава, повысить эффективность тушения пожара.

Для защиты кабины автомобиля от теплового излучения (в том числе от солнечной радиации) предложены следующие способы:

- теплоизоляция – заполнение воздушных прослоек ограждающих конструкций (боковые стенки, двери, крыша) теплоизоляционным материалом

для увеличения общего термического сопротивления ограждений;

- экранирование ограждающих конструкций – оклеивание (окрашивание) наружных поверхностей ограждений материалами с высокими теплоотражательными свойствами для снижения уровня их нагрева;

- экранирование в воздушных прослойках ограждающих конструкций – оклеивание (окрашивание) одной или обеих стенок ограждающих конструкций со стороны воздушных прослоек материалами с высокими теплоотражательными свойствами для снижения температур внутренней поверхности ограждений;

- применение специального остекления кабин для уменьшения количества проникающей внутрь тепловой радиации;

- использование сеточной завесы на остеклении для снижения температуры стекол.

Одни из предложенных способов (экранирование в воздушной прослойке, увеличение слоя теплоизоляции, установка специального остекления) могут быть применены при изготовлении (или ремонте) автомобилей, другие (теплоотражательные экраны, сеточные завесы) - являются экспресс-средствами, используемыми при эксплуатации.

Выполним сравнительную оценку эффективности предлагаемых способов теплозащиты. Введем при этом понятие «**характерная температура**», под которой будем понимать значения температур воздуха в кабине и внутренней (или, если конкретно указано, наружной) поверхности обогреваемого элемента ограждения.

4.3.1. Теплоизоляция элементов ограждения кабины

Количество тепла, поступающего через стенку, определяется ее термическим сопротивлением R_t [41,111]. Определить R_t можно, зная геометрические и теплофизические характеристики элементов стенки:

$$R_t = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (4.1)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи с обогреваемой стороны элемента ограждения, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{К}^{-1}$;

δ_i – толщина i -го слоя элемента ограждения, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя элемента ограждающей конструкции, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$;

α_2 – коэффициент теплоотдачи с необогреваемой стороны элемента ограждения, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{К}^{-1}$.

Исходя из этого, количество тепла, поступающего в кабину автомобиля через ограждения (стенки), можно снизить, изменив условия теплообмена стенки с окружающей средой и воздухом внутри кабины, либо геометрические и теплофизические характеристики элементов ограждения кабины.

Коэффициенты теплоотдачи от стенки в окружающую среду α_1 и α_2 зависят от скорости омывающего стенку воздуха [47,97] и от ориентации поверхности стенки (см. зависимости 2.25 – 2.30). Причем повышение скорости наружного воздуха (движение автомобиля, принудительный обдув и т.п.) является способом тепловой защиты лишь в том случае, когда температура стенки выше, чем температура окружающего воздуха (см. таблицу 3.1). Увеличение же скорости воздуха внутри кабины приводит к снижению температуры стенки и повышению температуры воздуха. Кроме того, скорость движения воздуха внутри кабины ограничена санитарными нормами (не выше $1,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ [18,97]).

Следовательно, приемлемым способом тепловой защиты кабины пожарного автомобиля следует считать повышение термического сопротивления ограждающих конструкций за счет применения теплоизоляционных материалов в воздушных прослойках стенки и увеличения толщины слоя теплоизоляции (рисунок 4.1).

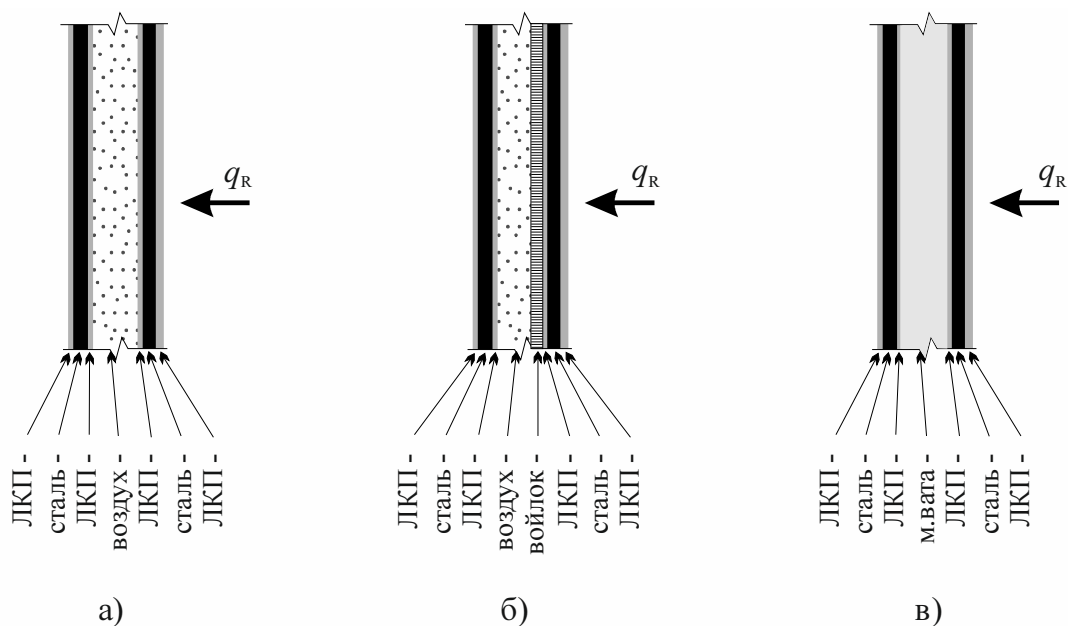


Рисунок 4.1. Теплоизоляция ограждающих конструкций кабины:
 а) стенка серийного автомобиля; б) стенка со слоем теплоизоляции;
 в) полное заполнение воздушной прослойки теплоизоляцией

Для иллюстрации изложенного в таблице 4.1 приведены данные по результатам воздействия теплового потока интенсивностью $4 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ на кабины серийных автомобилей ЗИЛ-131, АЦ-40(131)137, АЦС-40(131С)153а (последняя модель – северного исполнения – отличается наличием в ограждающих конструкциях дополнительного слоя теплоизоляции из напыленного пенополиуретана толщиной 15 мм) при различных температурах окружающей среды $T_{\text{ср}}$.

Как видим, тепловой поток оказывает различное влияние на микроклимат в кабине автомобиля, в зависимости от схемы обогрева. Наиболее опасным для кабин пожарных автомобилей является обогрев сбоку, что еще раз подтверждает выводы Х.И. Исхакова [30]. Объясняется это тем, что кабина грузового автомобиля имеет такую же площадь лобового остекления, как кабина пожарного автомобиля, но гораздо меньшую площадь боковой стенки. Вследствие этого параметры микроклимата в кабине при различных схемах обогрева практически одинаковы. Поэтому условимся считать боковой обогрев

кабины более опасным и в дальнейшем рассматривать только его. Это позволит, кроме того, одновременно рассматривать тепловую защиту как непрозрачных, так и светопрозрачных ограждений.

Таблица 4.1

Характерные температуры в кабинах серийных автомобилей

Место замера температуры	Температуры при параметрах среды		
	$T_{cp} = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{cp} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{cp} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$
ЗИЛ-131, обогрев сбоку			
Поверхность двери	121	148	162
Поверхность остекления	103	132	146
Воздух в кабине	27	56	71
ЗИЛ-131, фронтальный обогрев			
Поверхность остекления	103	132	147
Воздух в кабине	29	57	72
АЦ-40(131)137, обогрев сбоку			
Поверхность двери	95	125	140
Поверхность остекления	102	131	146
Воздух в кабине	26	55	70
АЦ-40(131)137, фронтальный обогрев			
Поверхность остекления	98	127	141
Воздух в кабине	14	42	56
АЦС-40(131С)153а, обогрев сбоку			
Поверхность двери	92	120	133
Поверхность остекления	61	86	98
Воздух в кабине	23	48	60
АЦС-40(131С)153а, фронтальный обогрев			
Поверхность остекления	52	75	88
Воздух в кабине	6	29	42

Значения характерных температур в кабине автоцистерны северного исполнения на 5–10 % ниже, чем у обычного автомобиля. Следовательно, дальнейшее увеличение толщины слоя теплоизоляции в ограждающих конструкциях позволит снизить их еще больше (рисунок 4.2).

Очевидно, что увеличение толщины слоя теплоизоляции целесообразно только на стенках, которые подвергаются воздействию теплового потока. Такими стенками в пожарном автомобиле (по роду его эксплуатации) могут быть все стенки, за исключением пола и стенки, отделяющей отсек двигателя от

кабины. Из этого следует вывод, что последние стенки можно не утеплять.

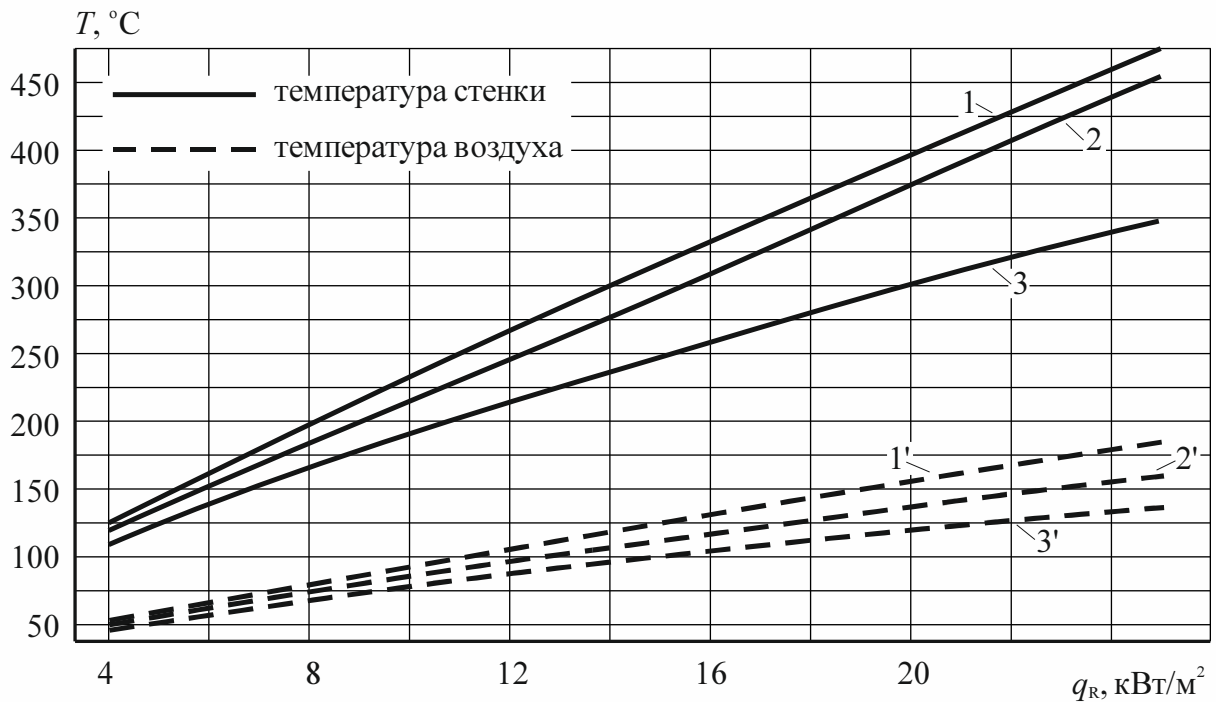


Рисунок 4.2. Зависимость характерных температур в кабине от мощности падающего теплового потока: 1,1' – серийный автомобиль (см. рисунок 4.1 а); 2,2' – частично теплоизолированные ограждающие конструкции (см. рисунок 4.1 б); 3,3' – максимально теплоизолированные ограждающие конструкции (см. рисунок 4.1 в)

Ошибочность этого взгляда иллюстрируется в таблице 4.2, где представлены для сравнения характерные температуры в кабинах автомобилей с металлическим полом и полом, покрытым резиновым ковриком (пенополиуретаном толщиной 15 мм и резиновым ковриком для автоцистерны северного исполнения).

Как видно из таблицы 4.2, уменьшение термического сопротивления пола путем удаления слоя теплоизоляции приводит к очень незначительному уменьшению характерных температур, а при повышении температуры окружающей среды – к их увеличению, также незначительному. Причем, полученные данные – результат теоретических расчетов. При проведении

натурных экспериментов подобных изменений температур в кабине зафиксировано не было.

Таблица 4.2

Изменение температур в кабинах пожарных автомобилей при удалении теплоизоляции пола

Место замера	$q_R = 4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$		$q_R = 8 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$	
	$T_{\text{ср}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{\text{ср}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{\text{ср}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{\text{ср}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$
АЦ-40(131)137				
Поверхность двери	124,8 / 124,1	139,9 / 140,9	202,4 / 201,7	215,6 / 216,7
Поверхность пола	29,5 / 27,5	44,7 / 48,9	38,7 / 35,6	53,8 / 58,5
Воздух в кабине	54,8 / 54,0	69,5 / 71,3	82,4 / 81,1	96,6 / 98,7
АЦС-40(131С)153а				
Поверхность двери	119,5 / 119,0	133,5 / 134,8	194,8 / 193,9	207,2 / 208,9
Поверхность пола	26,2 / 23,6	39,6 / 45,7	33,2 / 29,0	46,6 / 54,0
Воздух в кабине	47,7 / 46,7	60,4 / 62,9	71,7 / 69,9	84,0 / 87,2

Примечание. В числителе указаны значения характерных температур в кабине автомобиля с ковриком на полу, в знаменателе – без коврика.

Следует отметить, что данный способ тепловой защиты не требует особых затрат на осуществление и практически не нуждается в обслуживании в процессе эксплуатации, поэтому может быть рекомендован к использованию.

4.3.2. Применение теплоотражательных экранов

Способ экранирования обогреваемых конструкций является наиболее эффективным из существующих способов тепловой защиты (рисунок 4.3). Теплозащитный эффект экранов основывается на том, что количество теплоты, передаваемое излучением, зависит от степени черноты поверхностей, которая в простейшем случае определяется, как

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \left(\frac{1}{\varepsilon_{\text{и}}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{об}}} - 1 \right)^{-1}, \quad (4.2)$$

где $\varepsilon_{\text{пр}}$ – приведенная степень черноты поверхностей;

$\varepsilon_{\text{и}}$ – степень черноты источника излучения (при горении древесины и изделий из нее – 0,7, нефтепродуктов и других коптящих жидкостей – 0,85 [41]);

$\varepsilon_{\text{об}}$ – степень черноты облучаемого объекта.

Применение теплоотражательных материалов позволяет снизить $\varepsilon_{\text{об}}$ и $\varepsilon_{\text{пр}}$, а значит и общее количество поглощенной поверхностью ограждающей конструкции теплоты.

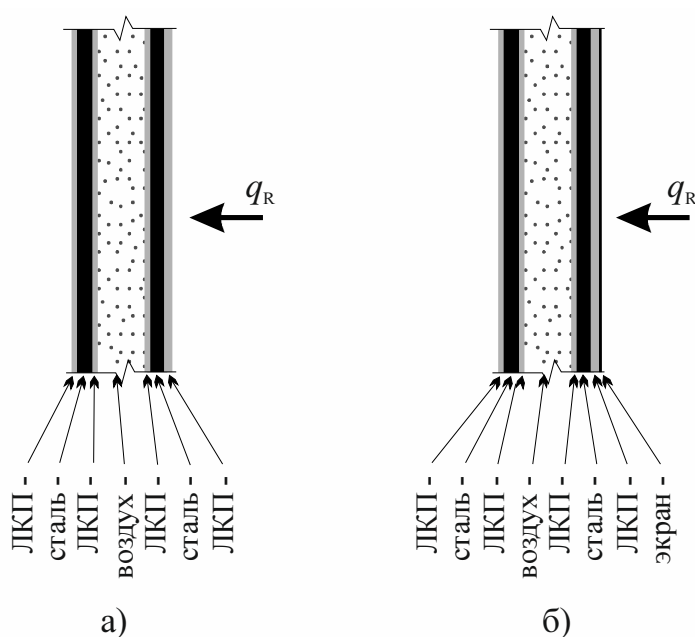


Рисунок 4.3. Экранирование ограждающих конструкций кабины автомобиля: а) стенка серийного автомобиля; б) экранированная стенка

В качестве теплоотражательных экранов обычно применяются полированные металлы, имеющие ε в пределах 0,011–0,25 [13,41]. Коэффициент поглощения излучения при этом снижается от 0,7–0,9 до 0,02–0,2.

Наиболее широко распространенным из материалов для этих целей является альфоль (ГОСТ 618-73), представляющий собой алюминиевую фольгу

толщиной 0,05–0,8 мм и имеющий практически неизменный в широком диапазоне температур и длин волн излучения коэффициент поглощения излучения $\varepsilon \approx 0,03–0,08$ [13].

При использовании альфолового экрана происходит резкое снижение характерных температур (рисунок 4.4). Кроме того у предложенного способа имеется еще одно достоинство: происходит значительное снижение температуры наружной поверхности обогреваемой стенки (это единственный способ, приводящий к такому результату), что предотвращает выгорание лакокрасочного покрытия кабины и деформацию (а при больших тепловых потоках – термическое разложение) пластмассовых и резиновых деталей корпуса.

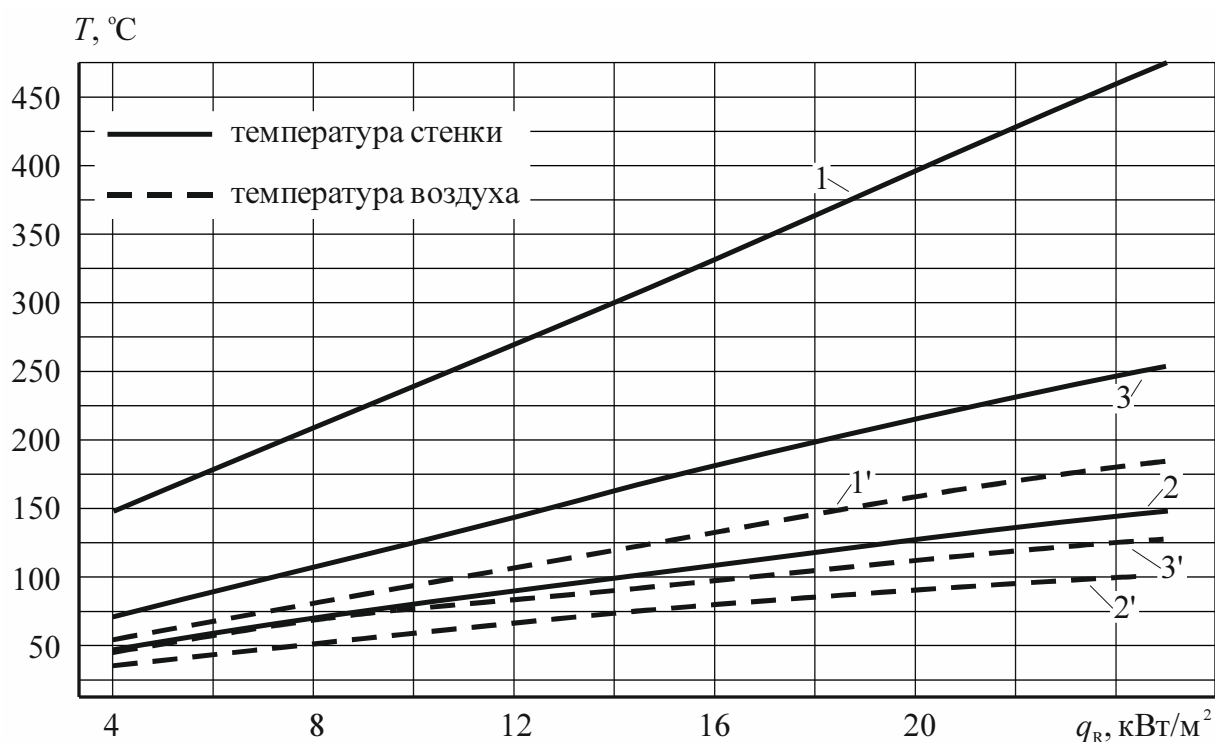


Рисунок 4.4. Зависимость характерных температур в кабине от мощности падающего теплового потока. 1,1' – серийный автомобиль; 2,2' – стенки снаружи оклеены альфолом; 3,3' – стенки окрашены алюминиевой краской

Недостаток этого способа – его нетехнологичность. Альфоль

поставляется в рулонах, необходимо вырезать листы и наклеивать их на стенки кабины, что довольно сложно, кроме того покрытие оказывается недолговечным. Следовательно, этот способ можно рекомендовать только как экспресс-средство защиты прибывающей техники на затяжных пожарах.

Более технологичным оказывается экранирование поверхностей путем нанесения на них алюминиевой краски. Для этого могут использоваться алюминиевые краски КО-815 (ГОСТ 11066-64) или ПАК-4 (ГОСТ 5494-50), имеющие $\varepsilon \approx 0,25-0,35$ и применяемые при температурах нагреваемых поверхностей ограждений до $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ [13]. В связи с тем, что степень черноты алюминиевой краски выше, чем у альфоля, снижение характерных температур будет меньше, чем в предыдущем случае (см. рисунок 4.4).

Последний способ также имеет ограничение применимости. При температуре покрытия $300-350\text{ }^{\circ}\text{C}$ начинается выгорание краски и постепенное повышение степени черноты покрытия [13]. Поэтому при длительных воздействиях мощных тепловых потоков степень снижения характерных температур будет уменьшаться.

Кроме того, окраска наружных поверхностей кабины пожарного автомобиля алюминиевой краской не допускается стандартом на цветографические схемы автомобилей оперативных служб [1].

И все же описанный способ можно рекомендовать и как индивидуальное средство тепловой защиты кабин автомобилей, и как составную часть комплекса защитных средств.

4.3.3. Экранирование в воздушной прослойке конструкций

В связи с низкой теплопроводностью воздуха основная доля теплоты в воздушных прослойках конструкций передается излучением от нагретой наружной стенки прослойки к внутренней стенке. Доля передачи теплоты конвекцией также мала из-за малой толщины и, как правило, замкнутого характера прослойки. Следовательно, общее количество теплоты, передаваемой

внутри кабины, и характерные температуры в кабине можно снизить, уменьшив коэффициент поглощения излучения стенками воздушной прослойки, аналогично предыдущему разделу. Использовать для этого можно уже описанные альфоль и алюминиевые краски.

В связи с тем, что у воздушной прослойки имеется две стенки, существует три способа экранирования (рисунок 4.5): экранирование наружной стенки ограждения со стороны прослойки, экранирование внутренней стенки со стороны прослойки, экранирование обеих стенок ограждающей конструкции. Естественно, двойной экран в воздушной прослойке более эффективен, чем одинарный, так же как альфольевый экран эффективней окрашенной алюминиевой краской поверхности (рисунок 4.6). Одинарный же экран на наружной стенке с точки зрения передачи теплоты эквивалентен экрану на внутренней стенке (приведенная степень черноты поверхностей в выражении (4.2) не изменяется). Однако на практике технологичнее экранировать наружные стенки воздушных прослоек ограждений.

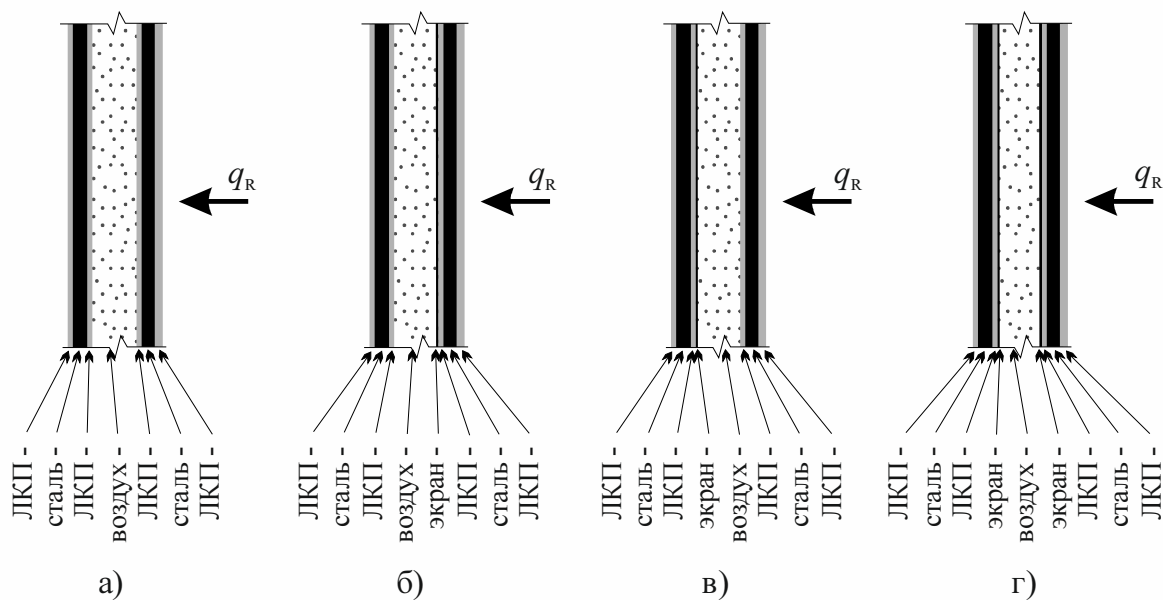


Рисунок 4.5. Экранирование в воздушной прослойке стенок кабины.

а) стенка серийного автомобиля; б) - в) варианты однослойного экрана; г) двухслойный экран

Экранирование в прослойках является менее эффективным средством, чем экранирование наружных поверхностей ограждений. Даже при применении двойного экрана величины характерных температур в кабине выше на 26-44 %, чем при применении экрана снаружи. Кроме того, любой экран в прослойке ухудшает теплоотдачу наружной стенки внутрь кабины. Это неизбежно вызывает повышение температуры наружной стенки, а значит, более интенсивное выгорание лакокрасочного покрытия.

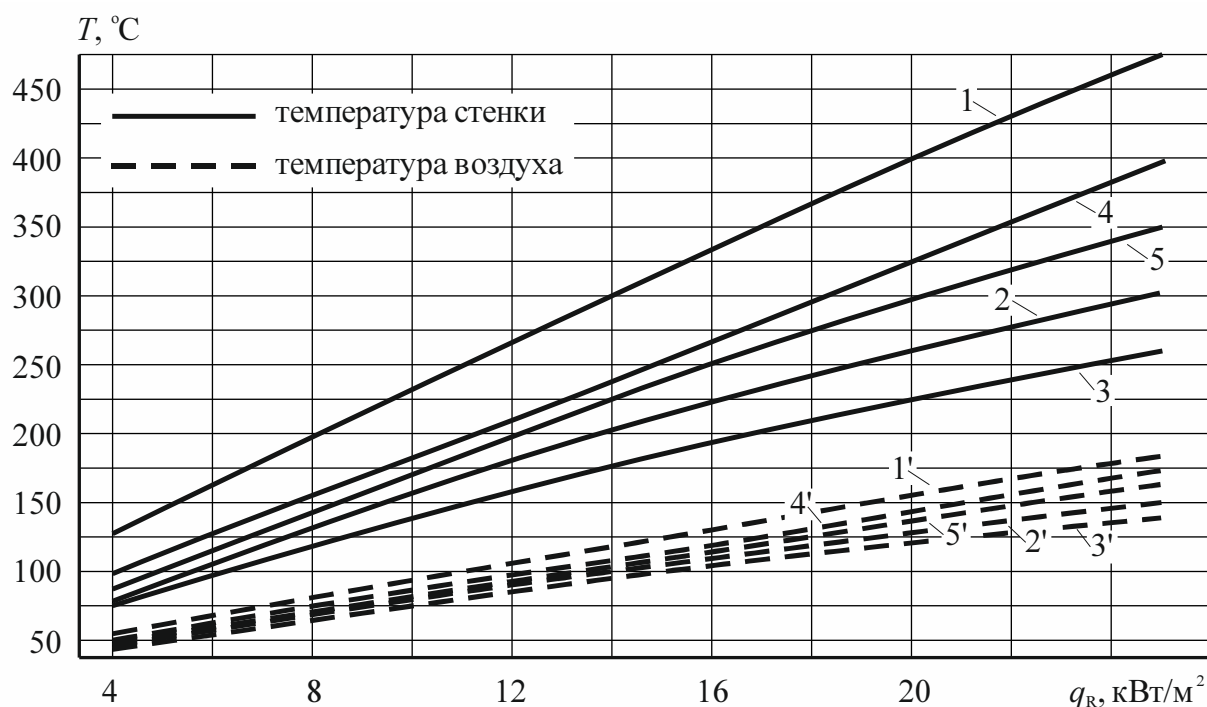


Рисунок 4.6. Зависимость характерных температур в кабине от мощности падающего теплового потока. 1,1' – серийный автомобиль; 2,2' – одинарный экран из альфоля в воздушных прослойках конструкций; 3,3' – двойной экран из альфоля в прослойках; 4,4' – одна стенка прослоек окрашена алюминиевой краской; 5,5' – алюминиевой краской окрашены обе стенки прослоек

Тем не менее, экранирование в воздушных прослойках конструкций более долговечно, по сравнению с наружным экраном, не требует больших

затрат на обслуживание и поэтому может быть рекомендовано к использованию в качестве средства тепловой защиты кабины автомобиля.

4.3.4. Использование специального остекления

У большинства современных автомобилей площадь остекления кабин достигает 25 % и более. Поэтому через окна поступает значительное количество теплоты, и тепловой защите стекол следует уделять особое внимание.

В качестве средств тепловой защиты остекления могут использоваться специальные пленочные покрытия (металлизированные полимерные или окисно-металлические), металлические сетки, специальные сорта стекол (рисунок 4.7) [72].

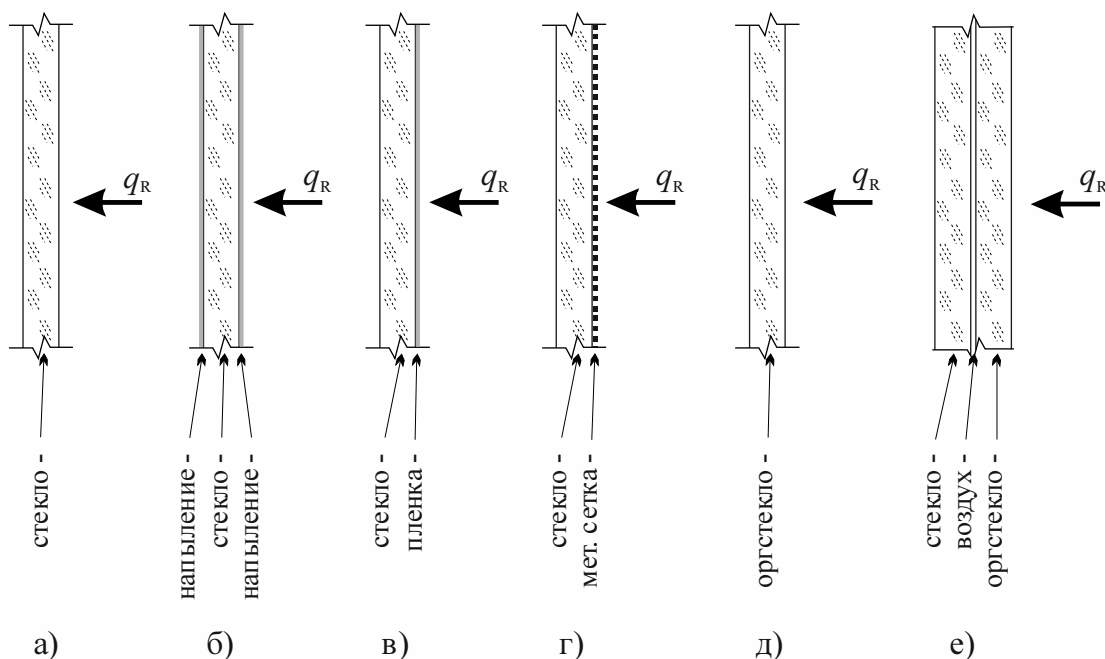


Рисунок 4.7. Специальное остекление кабин автомобилей. а) остекление серийного автомобиля (сталинит); б) тонированное стекло; в) стекло с наклеенной пленкой; г) стекло с металлической сеткой; д) органическое стекло; е) двойное остекление из оргстекла и сталинита

Металлические сетки на окнах автомобилей до настоящего времени не использовались в качестве средства тепловой защиты остекления, хотя имеют довольно высокую эффективность и в промышленности рекомендованы для применения у открытых проемов металлургических, стекловаренных и т.п. печей [13,72]. Достоинством сеточной завесы является также то, что ее применение снижает температуру остекления.

Исследования эффективности применения тонированных стекол с напыленной окисно-оловянно-сурьмяной пленкой показали, что снижение характерных температур в кабине очень незначительное. Происходит это из-за повышения коэффициента поглощения излучения стеклом, и, как следствие, повышения температуры самого стекла (рисунок 4.8).

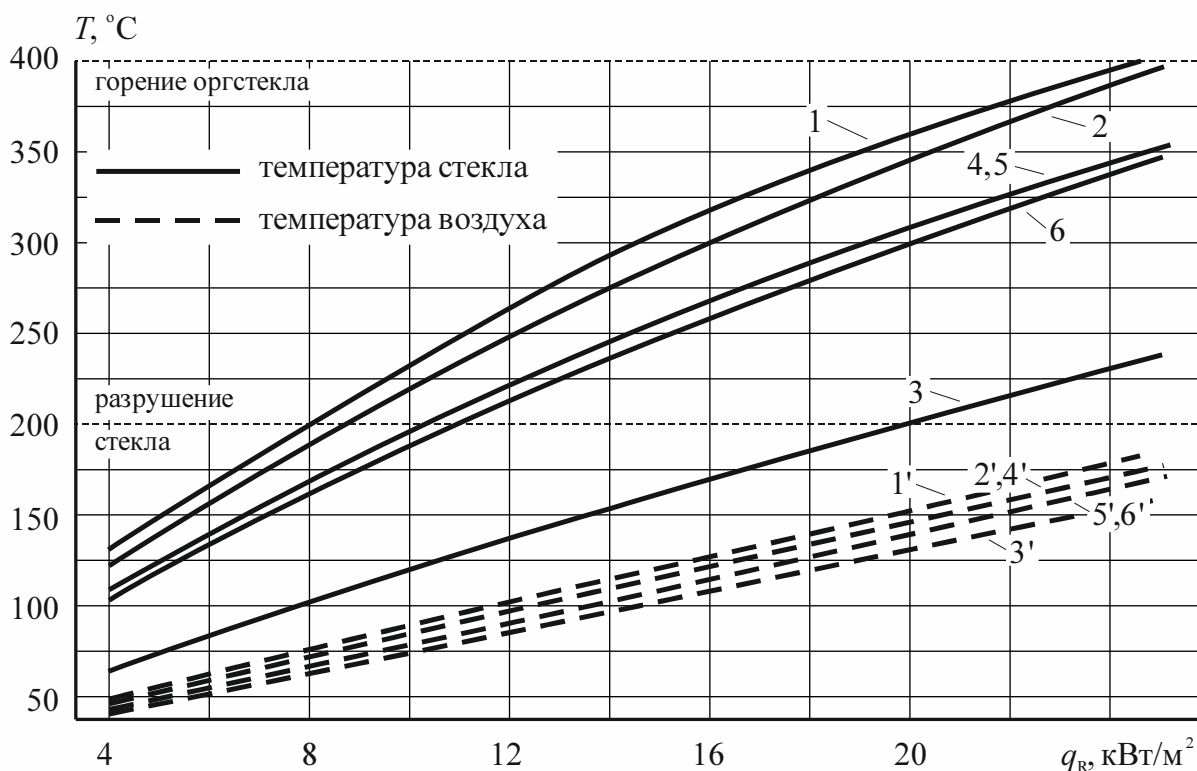


Рисунок 4.8. Зависимость характерных температур в кабине от мощности падающего теплового потока. 1 – остекление серийного автомобиля; 2 – тонированное остекление; 3 – лавсановая пленка на окнах; 4 – металлическая сетка на окнах; 5 – остекление из оргстекла; 6 – двойное остекление из оргстекла и сталинита

Полимерные пленки на окнах являются эффективными средствами защиты от солнечной радиации, но абсолютно неприменимы при мощных тепловых потоках пожара. Так уже при мощности излучения $1,5\text{--}3 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ происходит помутнение и обугливание пленки, что резко снижает видимость через окна, а при больших тепловых потоках начинается термическое разложение пленки с выделением ядовитых и горючих веществ. Единственным полимерным покрытием, которое можно рекомендовать к использованию, является алюминизированная полиэтилентерефталатная (лавсановая) пленка (ПЭТФ-ОАД). Особенность этой пленки заключается в том, что она обладает большой отражательной способностью и практически не пропускает тепловое излучение внутрь кабины, что резко снижает характерные температуры в кабине (см. рисунок 4.8).

При использовании лавсановой пленки следует иметь в виду, что теплозащитный эффект будет выше при наклеивании ее на наружную поверхность стекол, однако при этом происходит термическое разрушение пленки при меньших интенсивностях теплового потока, чем в случае наклеивания ее на внутреннюю поверхность.

Кроме того, любое тонированное стекло имеет пониженное по сравнению с обыкновенным стеклом светопропускание. Снижение же коэффициента светопропускания должно иметь разумные пределы: естественное освещение в кабине и видимость из нее не должны быть ниже величин, нормируемых Правилами дорожного движения: 70 % для лобового стекла и боковых стекол кабины водителя [7,69,79].

Средством тепловой защиты окон кабины может быть органическое стекло, имеющее меньший коэффициент пропускания излучения по сравнению с обычным стеклом (см. рисунок 1.6). Еще больший теплозащитный эффект имеет двойное остекление из оргстекла и сталинита, причем оргстекло необходимо устанавливать снаружи.

4.3.5. Применение комплексов теплозащитных средств

Рассмотренные выше средства противотепловой защиты позволяют снизить температуру внутренней поверхности обогреваемой стенки или остекления, что снижает температуру воздуха в кабине. Очевидно, что при применении нескольких описанных средств в комплексе теплозащитный эффект будет увеличен.

Для исследования были предложены три комплекса защитных средств (рисунок 4.9, рисунок 4.10).

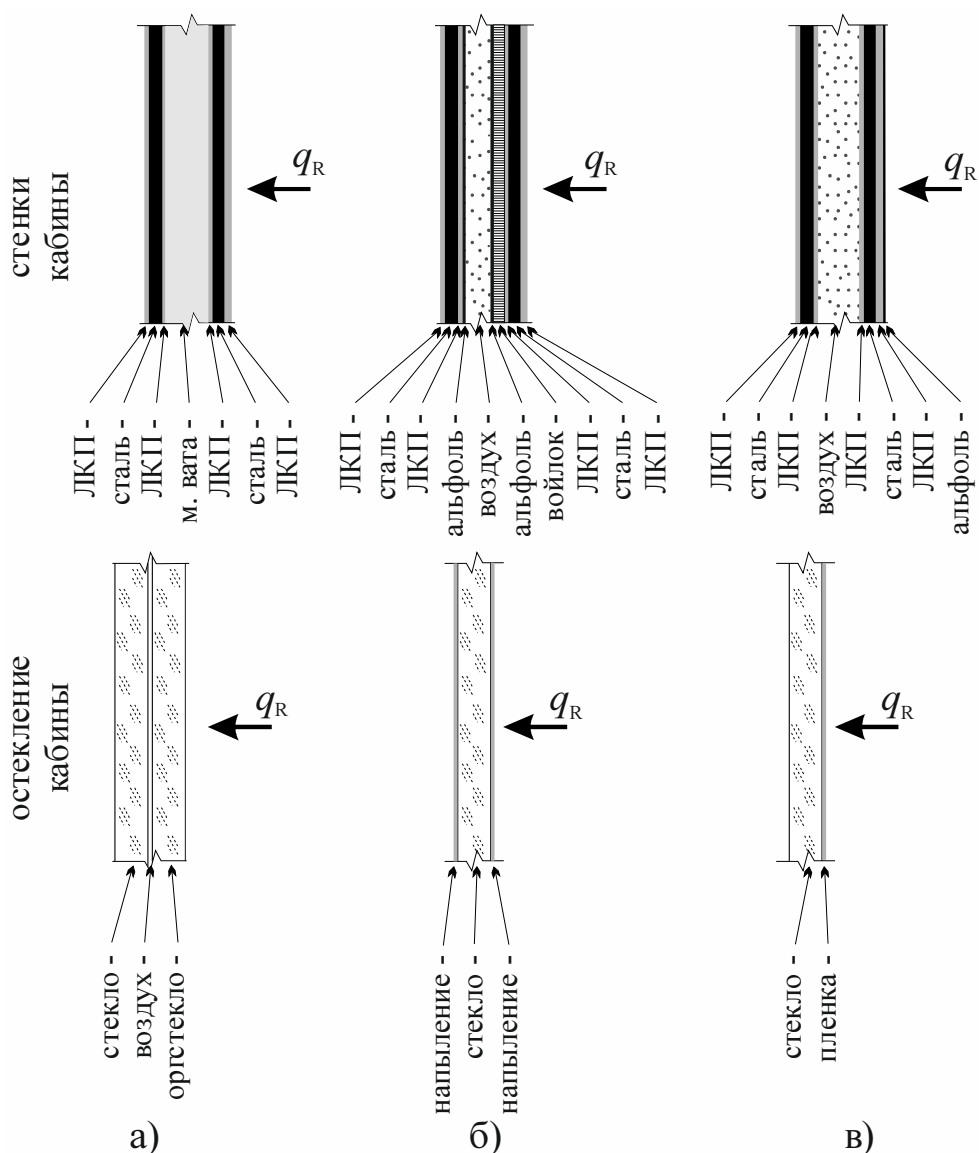


Рисунок 4.9. Комплексы теплозащитных средств: а) комплекс №1; б) комплекс №2; в) экспресс-средство

В качестве средств защиты, которыми можно оборудовать пожарный автомобиль при его длительной обычной эксплуатации, предложены два комплекса теплозащитных средств: комплекс №1 состоит из полностью заполненных минеральной ватой воздушных прослоек ограждений и листового оргстекла, установленного поверх окон автомобиля; комплекс №2 состоит из листового войлока толщиной 15 мм, наклеенного на наружные стенки со стороны воздушных прослоек, альфолы, наклеенного на обе стенки со стороны воздушных прослоек и тонированного напылением остекления автомобиля.

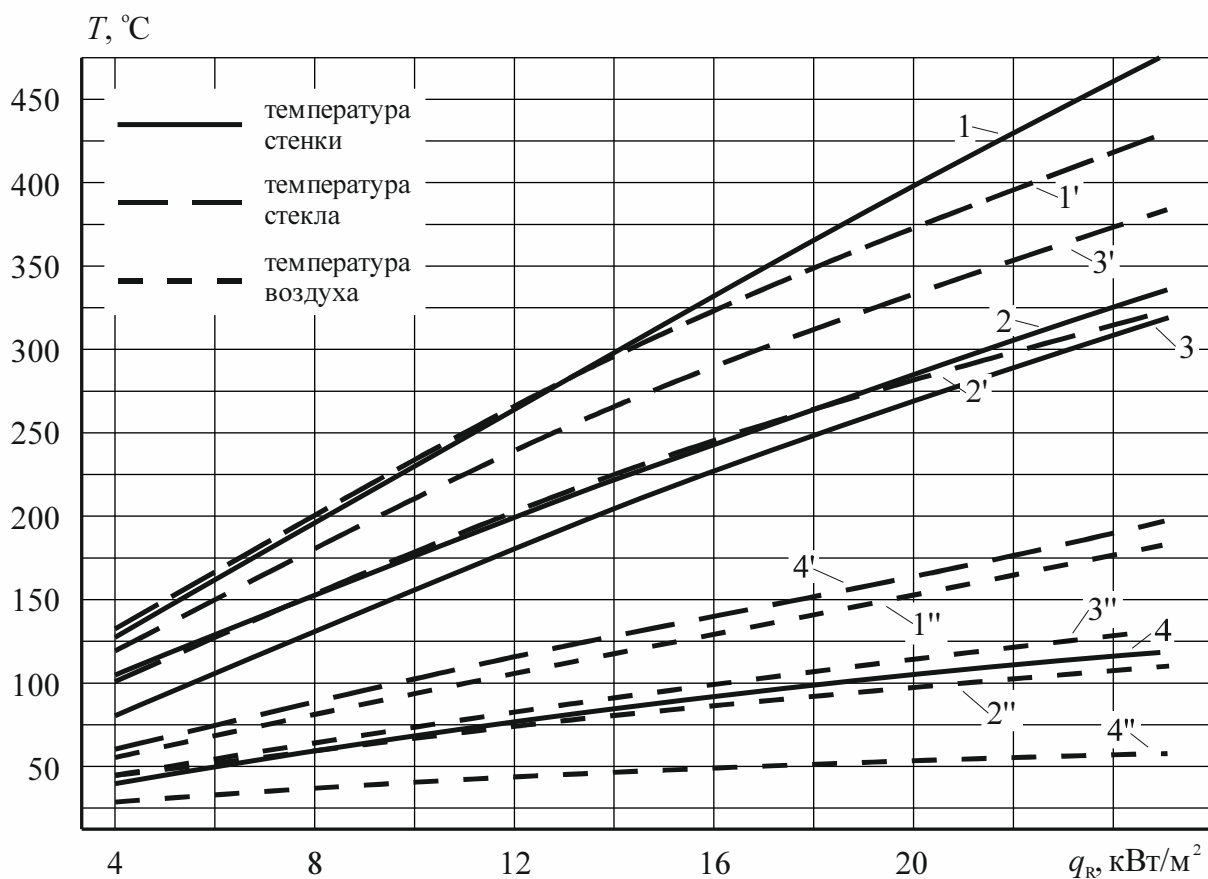


Рисунок 4.10. Зависимость характерных температур в кабине от мощности падающего теплового потока. 1,1',1'' – серийный автомобиль; 2,2',2'' – автомобиль с комплексом защитных средств №1; 3,3',3'' – автомобиль с комплексом теплозащитных средств №2; 4,4',4'' – автомобиль с экспресс-средством теплозащиты

В качестве экспресс-средства теплозащиты, которое должно вывозиться на специальной технике и в возможно короткие сроки устанавливаться на пожарные автомобили, прибывающие к месту пожара, предложена оклейка наружных стенок кабины альфолем, окон автомобиля - алюминизированной полиэтилентерефталатной пленкой. Несмотря на более высокую эффективность тепловой защиты, постоянно эксплуатировать пожарный автомобиль с таким средством невозможно, как уже указывалось выше.

4.4. Оценка эффективности технических решений по тепловой защите кабин автомобилей

Рассмотренные выше способы тепловой защиты кабин автомобилей позволяют при некоторых тепловых воздействиях сохранять в кабине безопасные микроклиматические условия. То есть кабина автомобиля сохраняет теплоустойчивость при некоторых уровнях действующего на нее теплового потока.

Теплоустойчивость пожарного автомобиля – это его свойство сохранять в течение определенного времени в условиях мощных тепловых воздействий несущую и ограждающую способность корпуса и кабины, безопасные параметры микроклимата в кабине и тепловое состояние его механизмов и систем [30,67].

Для оценки эффективности предложенных средств пассивной тепловой защиты необходимо определить границы теплоустойчивости кабин с различными теплозащитными средствами при внешних тепловых воздействиях.

4.4.1. Определение величины суммарного теплового потока внутри кабины автомобиля

Безопасность личного состава в кабине автомобиля определяется не только температурами поверхностей ограждений и воздуха, но и суммарным

тепловым потоком, проникающим внутрь кабины. Поэтому сравнение эффективности средств тепловой защиты производится еще и по этому параметру.

За суммарный тепловой поток, проникший в кабину автомобиля, принимается:

а) при боковом обогреве:

- тепловой поток от нагретых стенок кабины;
- тепловой поток от нагретого остекления;
- тепловой поток, проникающий через остекление;

б) при фронтальном обогреве:

- тепловой поток от нагретого остекления;
- тепловой поток, проникающий через остекление.

Величина теплового потока, проникающего через остекление, целиком определяется оптическими характеристиками стекла (см. рисунок 3.4). Тепловой поток от нагретых стенок кабины (в том числе от нагретого остекления) рассчитывается, исходя из температур нагретых поверхностей по формуле [13,20,111]:

$$E = 5,6 \cdot \left[\left(\frac{T_{\text{и}} + 273}{100} \right)^4 - A \right] \cdot \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{и}}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{к}}} - 1} \cdot \varphi \cdot \cos \beta, \quad (4.3)$$

где E – поверхностная плотность теплового потока, Вт·м⁻²;

$T_{\text{и}}$ – температура излучателя, °С;

A – эмпирический коэффициент, для кожи человека $A \approx 85 \text{ К}^4$;

$\varepsilon_{\text{и}}$ – степень черноты источника излучения;

$\varepsilon_{\text{к}}$ – коэффициент поглощения излучения кожей человека;

φ – коэффициент облученности;

β – угол падения теплового потока.

На рисунке 4.11 представлены величины теплового потока в кабине пожарной автоцистерны АЦ-40(131)137.

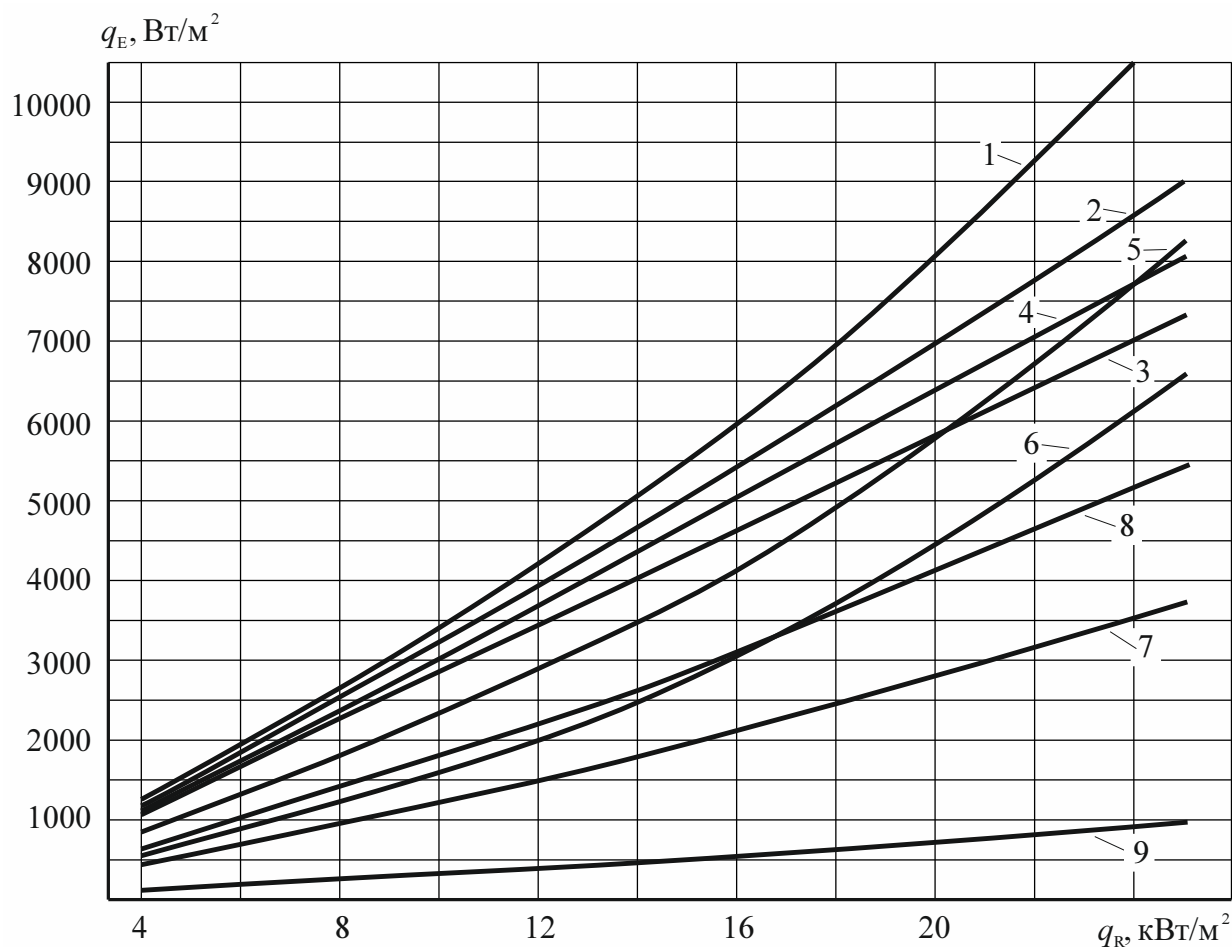


Рисунок 4.11. Зависимость величины излучения в кабине автомобиля от мощности падающего теплового потока: 1 – серийный автомобиль; 2 – автомобиль с утепленными стенками; 3 – стенки автомобиля оклеены альфолем; 4 – двойной экран из альфоля в воздушных прослойках стенок; 5 – тонированное остекление; 6 – двойное остекление из оргстекла и сталинита; 7 – комплекс теплозащитных средств №1; 8 – комплекс теплозащитных средств №2; 9 – экспресс-средство теплозащиты

Как видим, суммарный тепловой поток в кабине может достигать очень больших величин ($10 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ и более). В этом случае необходимо

рассматривать уже не параметры микроклимата в кабине, а теплостойкость и пожарную безопасность материалов интерьера [45,90].

4.4.2. Определение границ теплоустойчивости кабин автомобилей

Оценить эффективность предложенных средств тепловой защиты можно, если за эталон микроклиматических параметров в кабине принять значения тепловых параметров микроклимата в кабине серийного автомобиля (без дополнительной теплозащиты). Степень снижения характерных температур и теплового потока в кабине относительно эталона при применении предложенных средств пассивной тепловой защиты, рассчитанная при помощи математической модели, представлена в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Эффективность пассивной тепловой защиты кабины автомобиля

Способ тепловой защиты кабины автомобиля	Степень снижения, %			
	характерных температур			теплового потока
	стенки	стекла	воздуха	
Теплоизоляция стенок частичная	< 3	< 1	5 – 7	1 – 2
Теплоизоляция стенок максимальная	13 – 27	< 3	13 – 25	3 – 21
Альфоль снаружи стенки	63 – 70	< 5	30 – 45	14 – 35
Окраска стенки снаружи	44 – 47	< 3	21 – 30	11 – 29
Альфоль на 1 стенке прослойки	36 – 37	< 2	16 – 18	9 – 25
Альфоль на 2 стенках прослойки	40 – 45	< 3	16 – 24	10 – 28
Окраска 1 стенки прослойки	17 – 25	< 2	7 – 11	7 – 14
Окраска 2 стенок прослойки	27 – 31	< 2	13 – 14	8 – 20
Металлизирован. пленка на стекле	< 4	42 – 49	15 – 16	58 – 76
Тонированное стекло	< 2	4 – 6	5 – 6	26 – 35
Органическое стекло	< 2	14 – 16	8 – 9	38 – 51
Оргстекло + сталинит	< 3	16 – 20	4 – 11	42 – 57
Сеточная завеса на стекле	< 2	13 – 15	4 – 5	17 – 21
Комплекс теплозащитных ср-в №1	16 – 30	21 – 23	23 – 38	65 – 67
Комплекс теплозащитных ср-в №2	33 – 36	10 – 16	27 – 30	37 – 47
Экспресс-средство теплозащиты	68 – 75	53 – 55	50 – 69	90 – 92

Следует иметь в виду, что средства, защищающие непрозрачные ограждения, снижают температуру стенок и практически не влияют на

температуру остекления. Средства, защищающие остекление, снижают только температуру стекол и уменьшают долю проходящего через остекление теплового потока. Но поскольку температуры стенок определяют среднюю температуру воздуха и тепловой поток внутри кабины, величины последних уменьшаются при использовании всех без исключения средств тепловой защиты. Предложенные комплексы теплозащитных средств имеют ожидаемо наибольшую эффективность.

На основании предельных параметров микроклимата в кабине с помощью математической модели определены максимальные значения теплового потока, действующего на кабину, при которых сохраняется ее теплоустойчивость (таблица 4.4).

Таблица 4.4

Границы теплоустойчивости кабины автоцистерны АЦ-40(131)137

Способ тепловой защиты кабины	Плотность теплового потока, при котором сохраняется теплоустойчивость кабины, кВт/м ²			
	по температурам			по тепловому потоку
	стенки	стекла	воздуха	
Серийный автомобиль	3,00	2,66	4,49	7,35
Теплоизоляция стенок частичная	3,13	2,65	4,94	7,41
Теплоизоляция стенок максимальная	3,57	2,74	5,94	7,76
Альфонь снаружи стенки	14,90	2,83	10,13	8,82
Окраска стенки снаружи	6,79	2,74	7,33	8,39
Альфонь на 1 стенке прослойки	5,91	2,64	6,50	8,29
Альфонь на 2 стенках прослойки	6,68	2,74	6,80	8,39
Окраска 1 стенки прослойки	4,30	2,70	5,49	7,95
Окраска 2 стенок прослойки	5,25	2,65	6,09	8,16
Металлизирован. пленка на стекле	3,19	7,31	6,07	18,98
Тонированное стекло	3,09	2,88	4,96	10,61
Органическое стекло	3,15	3,45	5,31	13,11
Оргстекло + сталинит	3,10	3,72	5,44	14,13
Сеточная завеса на стекле	3,07	3,40	4,89	9,10
Комплекс теплозащитных ср-в №1	3,72	3,94	8,00	18,76
Комплекс теплозащитных ср-в №2	5,90	3,06	8,45	13,17
Экспресс-средство теплозащиты	19,87	9,29	28,86	58,98

Как показывают расчеты, кабина серийного автомобиля сохраняет теплоустойчивость лишь при мощности теплового потока $2,66 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$. Автомобили, оборудованные средствами тепловой защиты, обеспечивают безопасный микроклимат в кабинах при бóльших уровнях теплового излучения пожара.

Максимальной является теплоустойчивость кабин автомобилей, оборудованных комплексом теплозащитных средств и экспресс-средством (соответственно $3,72 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$, $3,06 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ и $9,29 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$).

Другими словами, серийный пожарный автомобиль может безопасно приблизиться к горящему штабелю древесины высотой 6 м только на расстояние 80 м, чего явно недостаточно для подачи воды лафетным стволом. Применение комплексов теплозащитных средств позволяет сократить это расстояние до 60 м. Тот же автомобиль, оборудованный экспресс-средством теплозащиты, может эффективно производить тушение штабеля с расстояния, не превышающего 50 м (см. рисунок 1.3).

Следовательно, все предложенные комплексы средств тепловой защиты имеют высокую эффективность и рекомендуются к использованию в подразделениях пожарно-спасательной службы по охране потенциально опасных объектов, подразделениях, в районе выезда которых такие объекты находятся, а также в сводных отрядах по ликвидации последствий аварий и стихийных бедствий.

4.5. Рекомендации по оборудованию пожарных автомобилей средствами тепловой защиты

На основании проведенных исследований разработаны и утверждены в МЧС «Рекомендации по оборудованию автомобилей пожарно-спасательных подразделений средствами противотепловой защиты» (Приложение А). Рекомендации используются в Государственном учреждении «ДонбассПожтехника» (г. Зугрес), которое занимается ремонтом и

оборудованием пожарных автомобилей (Приложения Б, В). Рассмотренные в Рекомендациях виды дополнительной тепловой защиты кабин автомобилей могут выполняться непосредственно в пожарно-спасательных подразделениях, так как не требуют больших трудозатрат и специального оборудования.

Оснащение пожарных автомобилей средствами тепловой защиты позволяет увеличить время их безопасной работы в непосредственной близости от фронта пламени.

В соответствии с разработанными Рекомендациями дополнительные средства защиты устанавливаются на стенки кабины, которые могут подвергаться воздействию тепловых потоков пожара: двери кабины и салона боевого расчета, боковые стенки, лобовое стекло, крыша (рисунок 4.12).

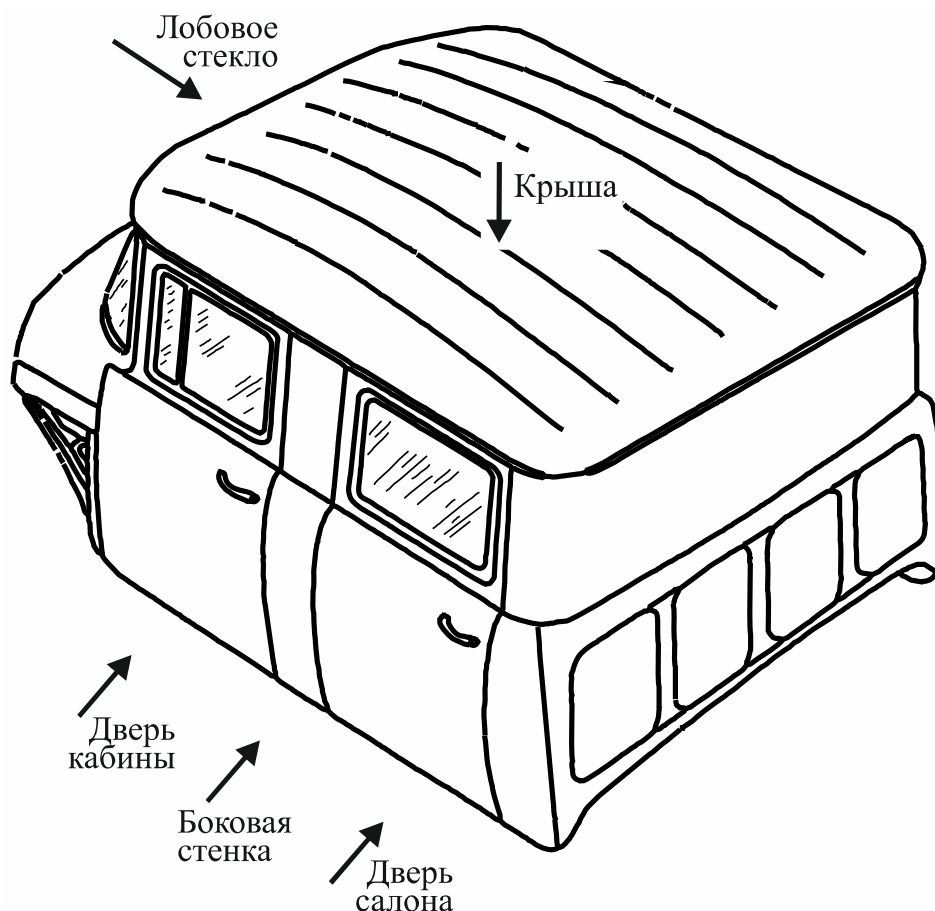


Рисунок 4.12. Ограждения кабины пожарного автомобиля, подлежащие оборудованию средствами пассивной тепловой защиты

4.5.1 Монтаж комплекса теплозащитных средств №1

Схема монтажа комплекса теплозащитных средств №1 на пожарном автомобиле представлена на рисунке 4.13.

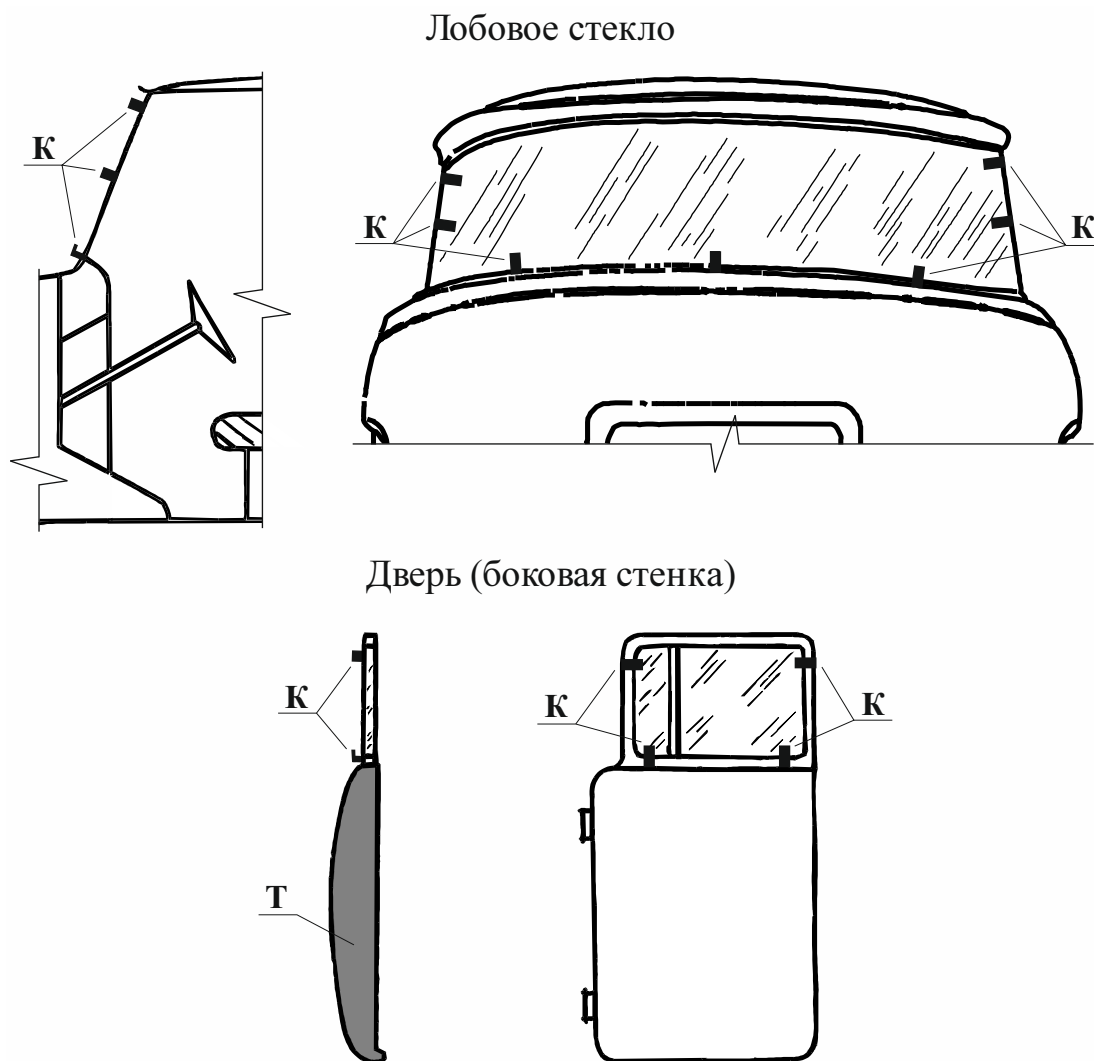


Рисунок 4.13. Размещение элементов комплекса теплозащитных средств №1 на ограждающих конструкциях кабины автомобиля: **К** – кронштейн для крепления оргстекла; **Т** – заполнение воздушной прослойки ограждения теплоизоляционным материалом

Тепловая защита стенок кабины

Воздушные прослойки боковых стенок кабины (в том числе дверей) заполняются минеральной ватой. Заполнение производится при поднятых

стеклах в дверях кабины. Средний расход предварительно разрыхленной ваты на одну стенку (дверь) 5–8 кг. После заполнения проверяется работоспособность стеклоподъемников и дверных замков.

Перечень теплоизоляционных материалов, рекомендуемых для заполнения воздушных прослоек конструкций, приведен в таблице 4.5. Могут также использоваться другие негорючие теплоизоляционные материалы с подобными теплофизическими характеристиками.

Таблица 4.5

Теплофизические характеристики теплоизоляционных материалов, используемых в комплексе средств теплозащиты №1

Теплоизоляционный материал	Плотность, кг·м ⁻³	Теплоемкость, Дж·кг ⁻¹ ·К ⁻¹	Теплопроводность, Вт·м ⁻¹ ·К ⁻¹
Вата минеральная	250	940	0,056
Вата стеклянная	200	2805	0,043
Conlit-150 (Rockwool) разрыхленный	165	840	0,037

Использование полимерных материалов (пенополистирол, пенополиуретан и т.п.) не допускается, так как они обладают «тепловой прозрачностью» в спектре теплового излучения пожара и пропускают до 90 % энергии [47,98].

Недостаток предлагаемого способа – слеживание минеральной ваты – требующее периодического повторного ее разрыхления.

Тепловая защита остекления кабины

Изготавливаются элементы остекления из листового органического стекла марки СОЛ-120 (СОЛ-90) толщиной 5–6 мм по размерам оконных проемов кабины. Для крепления оргстекла оконные проемы снаружи кабины оборудуются кронштейнами (см. рисунок 4.13). Размеры кронштейнов должны предусматривать установку оргстекла вплотную к существующему стеклу. В транспортном положении листы оргстекла хранятся упакованными за спинкой сидений в салоне боевого расчета.

При изготовлении кронштейнов может предусматриваться установка на оконные проемы металлических решеток (сеток).

4.5.2 Монтаж комплекса теплозащитных средств №2

Схема монтажа комплекса теплозащитных средств №2 на пожарном автомобиле представлена на рисунке 4.14.

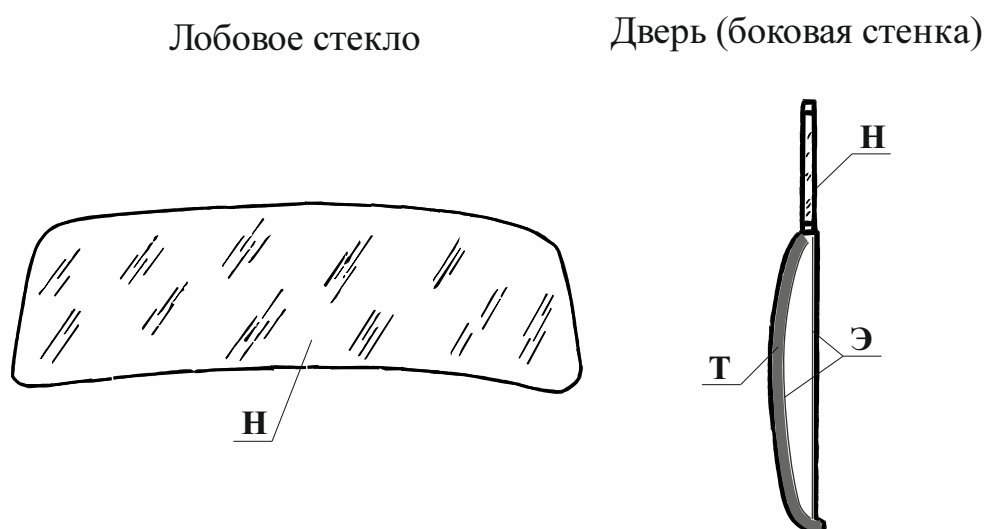


Рисунок 4.14. Размещение элементов комплекса теплозащитных средств №2 на ограждающих конструкциях кабины автомобиля: **Н** – тонированное напылением (наклейкой пленки) стекло; **Т** – слой теплоизоляционного материала внутри воздушной прослойки ограждения; **Э** – экран из теплоотражательного материала в воздушной прослойке ограждения

Тепловая защита стенок кабины

На наружные стенки воздушных прослоек стенок кабины (в том числе дверей) наклеивается листовой минераловатный войлок толщиной не менее 15 мм. Сверху на войлок и на внутреннюю стенку воздушной прослойки наклеивается листовой альфоль. После сборки дверей проверяется работоспособность стеклоподъемников и дверных замков.

Перечень листовых теплоизоляционных материалов, рекомендуемых для

наклейки на стенки воздушных прослоек ограждений, приведен в таблице 4.6. Могут также использоваться другие негорючие листовые теплоизоляционные материалы с подобными теплофизическими характеристиками.

Таблица 4.6

Теплофизические характеристики листовых теплоизоляционных материалов, используемых в комплексе средств теплозащиты №2

Теплоизоляционный материал	Плотность, кг·м ⁻³	Теплоемкость, Дж·кг ⁻¹ ·К ⁻¹	Теплопроводность, Вт·м ⁻¹ ·К ⁻¹
Войлок минераловатный	250	754	0,075
Маты минераловатные	250	940	0,056
Conlit-150 (Rockwool)	165	840	0,037
Брандизол (БЗМ)	300	970	0,042

Использование полимерных материалов (пенополистирол, пенополиуретан и т.п.) в качестве теплоизоляции не допускается [47,98].

Вместо оклейки поверхностей листовым альфолем возможна их окраска алюминиевыми красками (КО-815, ПАК-4 или другими подобными). В этом случае эффективность тепловой защиты кабины снижается на 27 % (по температуре обогреваемой стенки) или на 11 % (по среднеобъемной температуре воздуха в кабине).

Для наклейки средств тепловой защиты на стенки воздушной прослойки кабины может использоваться клей «Conlit Glue» (Rockwool), или другой, предназначенный для наклейки волокнистых материалов на металлические поверхности.

Тепловая защита остекления кабины

На специализированных станциях технического обслуживания автомобилей выполняется тонирование остекления кабины путем вакуумного напыления окисно-оловянно-сурьмяной пленки (или другой окисно-металлической) толщиной 0,1 мкм для лобового стекла и 1,0 мкм – для боковых стекол кабины.

Непосредственно в пожарно-спасательных подразделениях тонирование

остекления выполняется путем наклеивания на стекла тонирующей полимерной пленки. Для продолжительной эксплуатации пожарного автомобиля допускается использование тонирующей пленки №35 – для лобового стекла, №20 – для бокового остекления кабины водителя, №15 – для остекления салона боевого расчета [79]. При этом тонирующая пленка наклеивается с внутренней стороны остекления.

Усредненные характеристики пропускания излучения различными видами остекления кабины приведены в таблице 4.7.

При практически одинаковых характеристиках остекления, тонированного напылением и наклейкой пленок, последние имеют существенных недостаток, заключающийся в том, что при высоких уровнях внешнего теплового излучения происходит помутнение и даже обугливание пленки.

Таблица 4.7

Характеристики пропускания излучения различными видами остекления кабины автомобиля

Материал остекления	Средний интегральный коэффициент пропускания теплового излучения	Коэффициент естественной (солнечной) освещенности в кабине
Закаленное автомобильное стекло	0,36	0,88
Окисно-металлическая пленка $\delta = 1,0$ мкм	0,15	0,55
Окисно-металлическая пленка $\delta = 0,1$ мкм	0,25	0,73
Полимерная пленка №15	0,18	0,60
Полимерная пленка №20	0,23	0,72
Полимерная пленка №35	0,28	0,77
Органическое стекло	0,14	0,85
Органическое стекло + сталинит	0,10	0,80
Алюминизированная лавсановая пленка	0,03	0,40

Полимерная тонирующая пленка является самоклеящейся. Для облегчения наклейки и выравнивания пленки на стекле используется мыльная вода.

4.5.3 Монтаж экспресс-средства теплозащиты

Схема монтажа экспресс-средства теплозащиты на пожарном автомобиле представлена на рисунке 4.15.

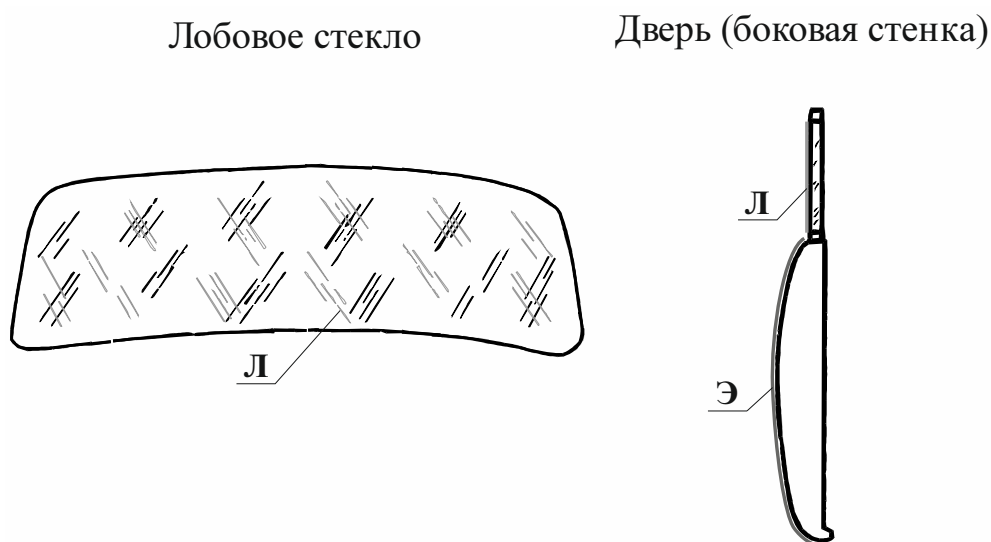


Рисунок 4.15. Размещение элементов экспресс-средства теплозащиты на ограждающих конструкциях кабины автомобиля: Л – наклеенная на стекло алюминизированная лавсановая пленка; Э – экран из теплоотражательного материала на наружной поверхности ограждения

Тепловая защита стенок кабины

Наружные стенки кабины (в том числе двери) покрываются листовым альфолем. Крепление фольги по возможности производится без приклеивания путем подворачивания и зажимания в дверных проемах кабины. Допускается фиксация альфоля в нескольких местах на стенке клеем БФ-6 (Н-88, «Момент» или им подобным).

Это позволяет после окончания работы снимать защитное покрытие без разрушения лакокрасочного покрытия кабины. Остатки клея снимаются с поверхности стенок при помощи спирта.

Тепловая защита остекления кабины

На наружную поверхность остекления кабины наклеивается алюминизированная лавсановая пленка.

Для наклейки пленки на остекление кабины используется слабый (10–15 %) раствор сахара. Остатки пленки после ее снятия с остекления смываются теплой водой.

Запас альфоля и алюминизированной лавсановой пленки (ПЭТФ-ОАД) в рулонах и средства для наклеивания их на стенки автомобилей целесообразно вывозить на штабных автомобилях. При тушении сложных затяжных пожаров прибывающая пожарно-спасательная техника может оборудоваться экспресс-средствами теплозащиты непосредственно на месте пожара.

4.6. Прогнозирование параметров микроклимата в кабине и пожарной безопасности автомобиля

Как показывают исследования, в условиях высокоинтенсивных тепловых воздействий время наступления предельных параметров микроклимата в кабине (или время воспламенения горючих конструкций автомобиля) соизмеримо со временем боевой работы пожарного автомобиля, определяемым временем расходования вывозимых огнетушащих веществ.

Поэтому для обеспечения безопасной работы пожарного автомобиля необходимо не столько измерение параметров его теплового состояния, сколько их прогнозирование.

Очевидно, что время безопасной работы пожарного автомобиля будет определяться в первую очередь мощностью падающего теплового потока. Измерение же ее сопряжено с целым рядом трудностей. Основная трудность – непостоянство теплового воздействия, связанное с изменением обстановки на пожаре и необходимостью маневрирования автомобилем. Поэтому определять время от начала теплового воздействия на автомобиль до достижения предельных состояний его узлов и систем приходится косвенным путем.

Известно, что мощность теплового излучения определяет не только

конечный результат нагрева кабины автомобиля, но и его динамику (рисунок 4.16).

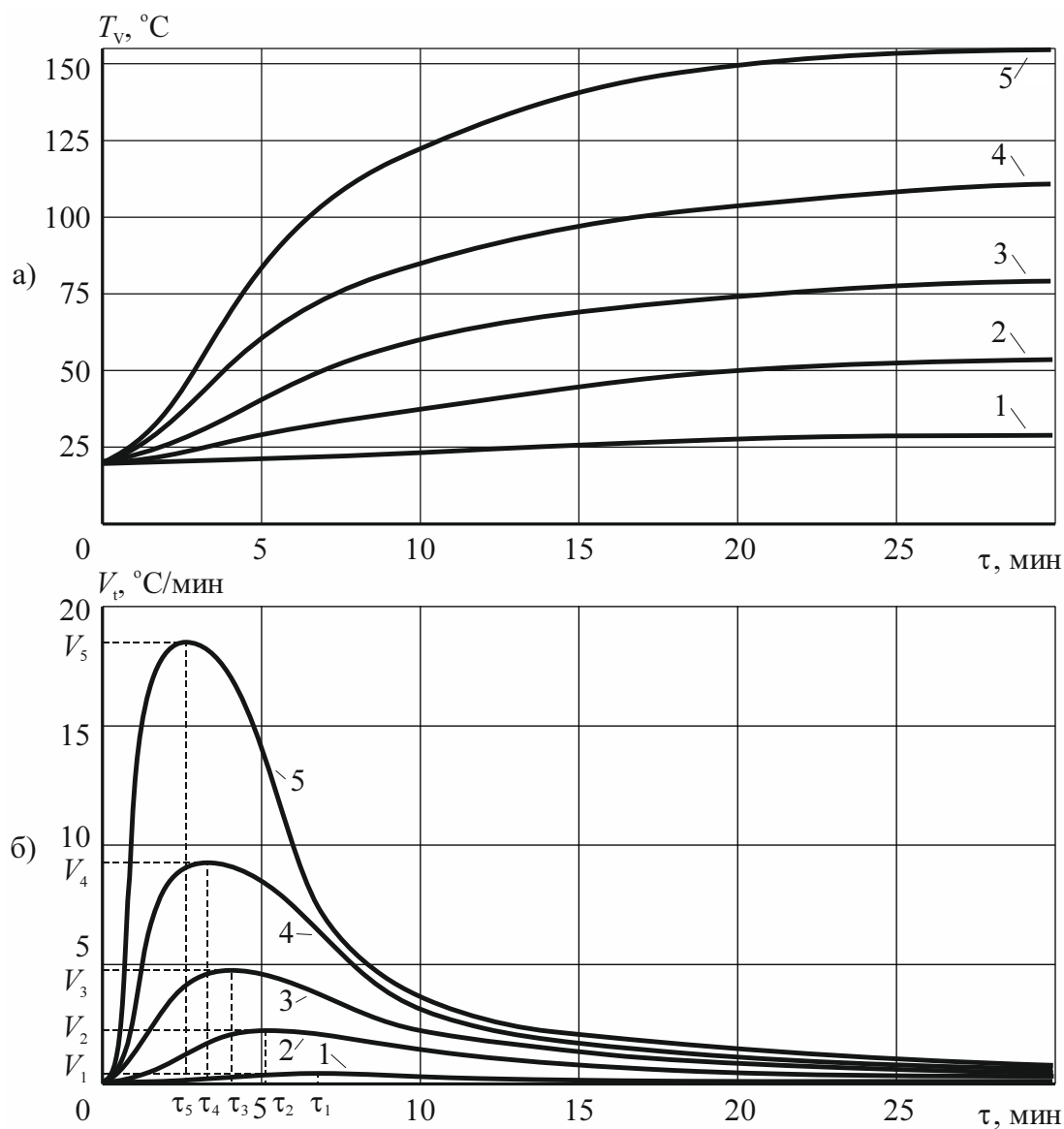


Рисунок 4.16. Изменение температуры воздуха в кабине автомобиля ЗИЛ-130 под воздействием теплового потока: а) температура; б) скорость роста температуры: 1 – $q_R = 0,8 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$; 2 – $q_R = 4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$; 3 – $q_R = 8 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$; 4 – $q_R = 14 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$; 5 – $q_R = 25 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$

Отсюда, на основании имеющихся экспериментальных данных при помощи математической модели была решена обратная задача теплообмена: по

результату восстановлена мощность и время теплового воздействия [8,102].

Причем, при выборе основного контролируемого параметра необходимо было учесть следующие требования:

- простота измерения существующими приборами;
- определение (или вычисление) предельных параметров микроклимата до момента их установления.

Исходя из этого, за основной контролируемый параметр было принято значение скорости изменения температуры воздуха в кабине V_T (первая производная от температуры по времени, см. рисунок 4.16). Поскольку величина V_T изменяется при изменении температуры воздуха в кабине, необходимо производить ее измерение в какой-либо характерный момент времени.

На графике изменения скорости роста температуры (рисунок 4.17) имеются две точки, значения V_T в которых однозначно соответствуют определенным величинам падающего теплового потока: это точка **A** (максимальное значение скорости роста температуры – вторая производная от температуры по времени равна нулю) и точка **B** (перегиб скорости – третья производная от температуры по времени равна нулю). Следовательно задачу можно решить двумя способами, опираясь на значения скорости роста температуры воздуха в точках **A** или **B**.

Для кабин пожарных автомобилей при помощи метода наименьших квадратов (с корреляцией 0,97–0,98) были получены эмпирические зависимости стационарной температуры в кабине T_V^* и мощности падающего теплового потока q_R от скорости роста температуры воздуха в кабине V_T в виде выражений:

$$T_V^* = T_0 + B_1 \cdot V_T^{K_1}; \quad (4.4)$$

$$q_R = B_2 \cdot V_T^{K_2}, \quad (4.5)$$

где T_V^* – стационарная температура воздуха в кабине, °С;

T_0 – начальная температура конструкций кабины, °С;

V_T – измеренное значение скорости изменения температуры воздуха в кабине, °С·мин⁻¹;

q_R – мощность падающего теплового потока, кВт·м⁻²;

B_1, K_1, B_2, K_2 – эмпирические коэффициенты.

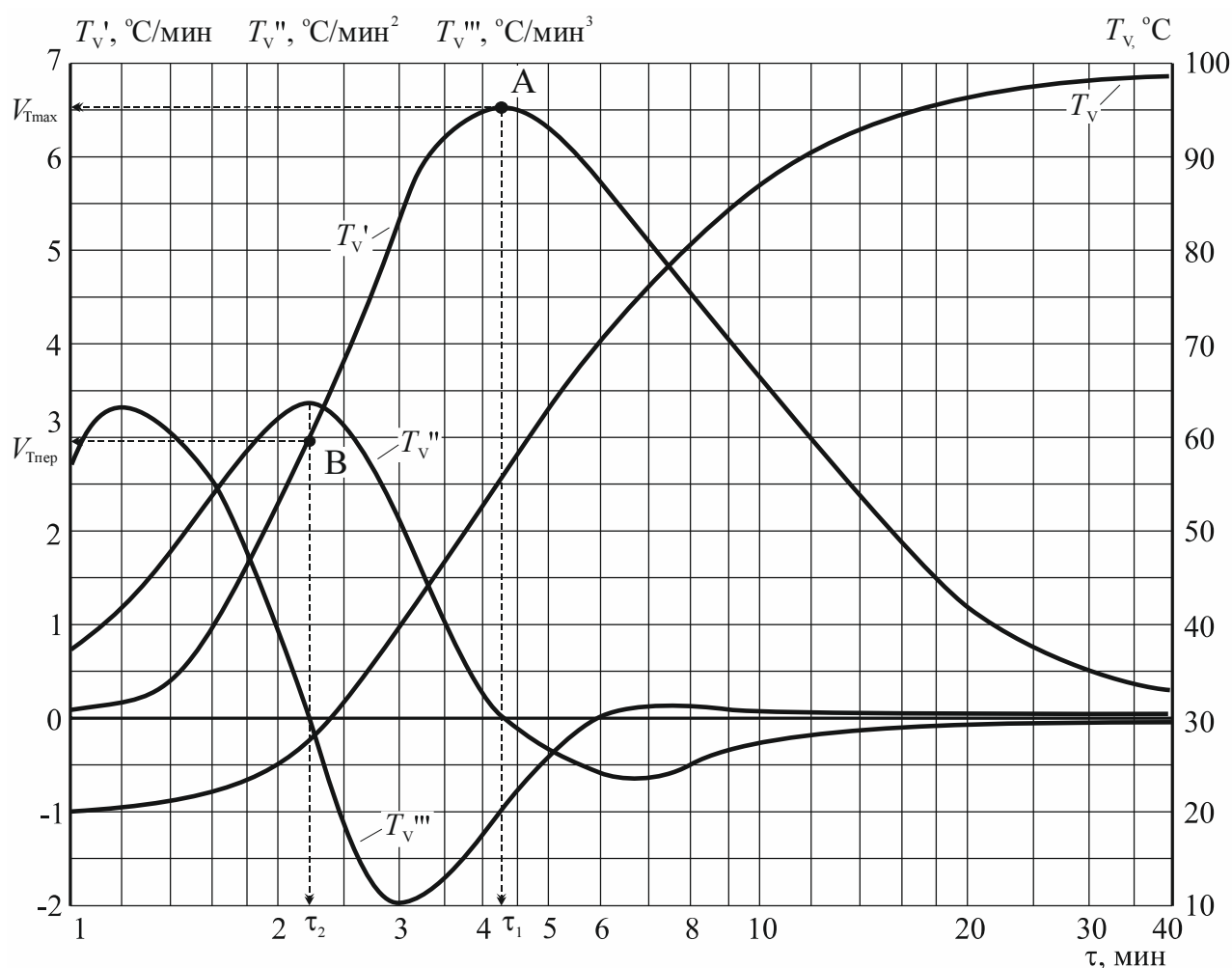


Рисунок 4.17. Изменение температуры воздуха и трех производных от температуры по времени в кабине автомобиля ЗИЛ-130 под воздействием теплового потока $q_R = 10,5 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$

Значения коэффициентов B_1, K_1, B_2, K_2 для автомобилей на шасси семейства ЗИЛ-130 приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8

Значения коэффициентов эмпирических зависимостей (4.4), (4.5)

Зависимость	ЗИЛ-130		АЦ-40(130)63а		АН-40(130)127	
	B_i	K_i	B_i	K_i	B_i	K_i
Регистрация по первому способу (в точке A на рис. 4.13)						
$T_V^* = f_1(V_T)$ (4.4)	19,280	0,652	21,612	0,645	22,378	0,648
$q_R = f_2(V_T)$ (4.5)	1,865	0,862	2,076	0,792	2,138	0,794
Регистрация по второму способу (в точке B на рис. 4.13)						
$T_V^* = f_1(V_T)$ (4.4)	22,395	0,668	24,769	0,676	24,394	0,684
$q_R = f_2(V_T)$ (4.5)	2,266	0,885	2,425	0,835	2,361	0,841

Для определения времени безопасного нахождения экипажа в кабине пожарного автомобиля $\tau_{пр}$ возможны два пути: определение $\tau_{пр}$ в виде зависимости от T_V^* или определение $\tau_{пр}$ в виде зависимости от q_R . Анализ ситуации показал целесообразность определения предельного безопасного времени $\tau_{пр}$, как зависимости:

$$\tau_{пр} = B_3 \cdot \exp\left(\frac{K_3}{T_V^*}\right), \quad (4.6)$$

где $\tau_{пр}$ – предельное безопасное время, мин;

T_V^* – стационарная температура воздуха в кабине, °С;

B_3, K_3 – эмпирические коэффициенты.

Значения эмпирических коэффициентов B_3, K_3 для определения времени достижения температур воздуха в кабине: максимально допустимой (45 °С) и предельной (60 °С) приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9

Значения эмпирических коэффициентов зависимости (4.6)

Время достижения	ЗИЛ-130		АЦ-40(130)63а		АН-40(130)127	
	B_3	K_3	B_3	K_3	B_3	K_3
45 °С	27,69	207,99	34,75	205,79	29,13	219,28
60 °С	29,43	258,86	40,65	246,38	40,59	247,74

Следует отметить, что в выражении (4.6) время достижения максимально допустимой и предельной температуры измеряется не от момента регистрации скорости роста температуры (в точках **A** или **B** на рисунке 4.17), а от начала теплового воздействия на кабину. В этом и заключается основное отличие двух предлагаемых способов регистрации и существенный недостаток первого способа, разработанного автором совместно с Х.И. Исхаковым в 1990 году.

При различных величинах падающего теплового потока меняется не только величина скорости роста температуры воздуха, но и время от начала теплового воздействия до момента регистрации этой скорости (таблица 4.10).

Таблица 4.10

Зависимость времени регистрации событий от величины падающего теплового потока

Время от начала воздействия до момента регистрации	Тепловой поток, кВт·м ⁻²				
	5	10	15	20	25
ЗИЛ-130					
Замер скорости, первый способ (в точке A на рисунке 4.17)	285	225	195	185	165
Замер скорости, второй способ (в точке B на рисунке 4.17)	165	135	120	105	90
Достижение температуры 45 °С	600	270	180	135	110
Достижение температуры 60 °С	1530	450	260	195	160
АЦ-40(130)63а					
Замер скорости, первый способ (в точке A на рисунке 4.17)	345	305	285	225	180
Замер скорости, второй способ (в точке B на рисунке 4.17)	210	195	165	135	115
Достижение температуры 45 °С	675	300	195	140	110
Достижение температуры 60 °С	1665	420	270	195	160

Если, к примеру, при тепловом потоке 10 кВт·м⁻² через 270 с температура воздуха в кабине достигнет 45 °С, то на самом деле это произойдет через 45 с от момента замера по первому способу или через 135 с - по второму способу. То есть существует тепловой поток, при воздействии которого регистрация производится уже после того, как температура воздуха в кабине достигла

предельного значения (см. таблицу 4.10). Следовательно, второй способ регистрации является более эффективным, несмотря на его большую сложность (определение трех производных от температуры по времени вместо двух).

Выражение (4.5) также позволяет прогнозировать время воспламенения (самовоспламенения) горючих конструкций автомобиля по зависимости [41]:

$$\tau_B = A \cdot q_R^{-K}, \quad (4.7)$$

где τ_B – время, через которое произойдет воспламенение (или самовоспламенение) материала (время индукции), с;

q_R – мощность падающего теплового потока, кВт·м⁻²;

A , K – эмпирические коэффициенты для конкретного горючего материала.

Значения эмпирических коэффициентов A , K определены для большинства горючих материалов, используемых в автомобилестроении: так для автомобильных шин эти коэффициенты равны соответственно $5,87 \cdot 10^6$ и $3,32$, для деревянного кузова – $4,05 \cdot 10^4$ и $1,37$, для стеклопластика – $3,73 \cdot 10^9$ и $6,42$, для хлопчатобумажной ткани – $7,97 \cdot 10^9$ и $1,8$ и т. д. [41].

По результатам исследований разработаны номограммы для графоаналитического определения времени безопасной работы различных автомобилей, подвергаемых мощным тепловым воздействиям (рисунок 4.18).

Предлагаемая номограмма состоит из двух частей: левая часть – определение предельного безопасного времени нахождения экипажа в кабине – позволяет вычислить максимальную температуру воздуха в кабине (T_V^*) и время достижения предельных тепловых микроклиматических параметров в ней ($\tau_{пр}$); правая часть – определение времени воспламенения (самовоспламенения) горючих конструкций автомобиля – позволяет вычислить среднюю величину падающего на автомобиль теплового потока (q_R) и время до

тепловых разрушений или воспламенения конструкций автомобиля (τ_b).

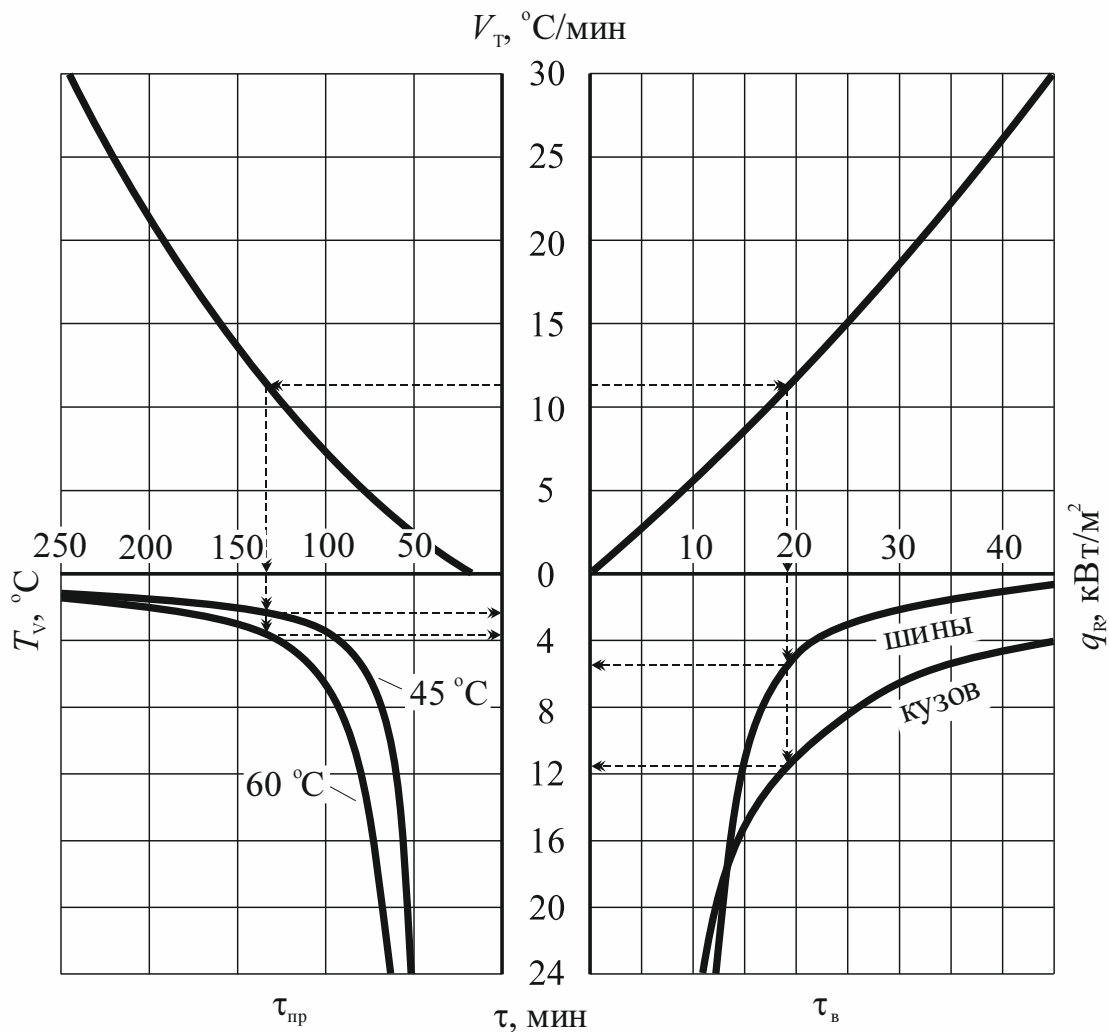


Рисунок 4.18. Номограмма для определения времени безопасной работы грузового автомобиля ЗИЛ-130 под воздействием мощного теплового потока пожара

На номограмме представлен ключ к пользованию. Пусть измеренное значение скорости роста температуры в кабине составило $11,5 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{мин}^{-1}$. Отсюда по левой части номограммы определяем, что максимальное значение температуры в кабине составит $134,5 \text{ }^\circ\text{C}$, через 130 с температура в кабине достигнет максимально допустимой для человека величины $45 \text{ }^\circ\text{C}$, а через 202 с – предельно переносимой величины $60 \text{ }^\circ\text{C}$. По правой части номограммы определяем, что средняя интенсивность теплового потока, действующего на

кабину в данный момент, составляет $19,5 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$, через 300 с возможно воспламенение автомобильных шин, а через 680 с – деревянного кузова.

Подобные номограммы позволяют оценивать приспособленность грузовых и пожарных автомобилей к работе в условиях мощных тепловых воздействий.

Простота полученных эмпирических зависимостей (4.4) и (4.6) позволяет создать электронное устройство, предупреждающее о возможности наступления предельных параметров микроклимата в кабине автомобиля (рисунок 4.19).

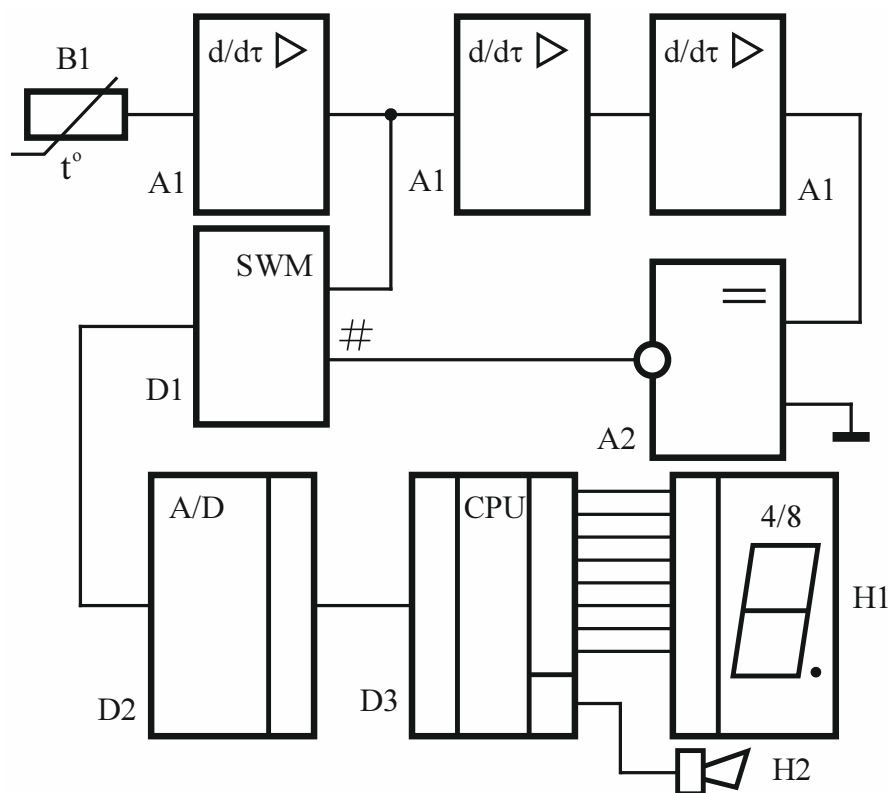


Рисунок 4.19. Блок-схема электронного устройства, для прогнозирования параметров микроклимата в кабине автомобиля: B1 – датчик температуры; A1 – дифференцирующий усилитель; A2 – компаратор; D1 – электронный ключ; D2 – АЦП; D3 – контроллер; Н – цифровой индикатор; H2 – сирена

Установленное в кабине пожарного автомобиля устройство позволит

оперативно рассчитывать время безопасного нахождения в ней спасателей и предупреждать о наступлении опасного теплового состояния агрегатов и систем автомобиля.

Выводы по главе 4

1. Установлено, что системы вентиляции и кондиционирования воздуха не обеспечивают поддержание безопасных микроклиматических условий в кабинах пожарного автомобиля при мощном тепловом воздействии открытого пожара. Для этой цели необходимо применение дополнительных средств тепловой защиты.

2. Разработаны простые способы пассивной тепловой защиты кабины автомобиля: теплоизоляция ограждений, установка теплоотражательных экранов на стенки снаружи и со стороны воздушных прослоек конструкций, применение специального остекления, сеточные завесы и комплексы теплозащитных средств.

3. Выполнена оценка эффективности применения средств тепловой защиты по четырем тепловым параметрам микроклимата: температурам обогреваемой стенки и обогреваемого остекления, температуре воздуха в кабине, суммарному тепловому потоку внутри кабины.

Установлено, что средства, защищающие непрозрачные ограждения кабины, снижают температуру стенок на 13–70 % и практически не влияют на температуру стекол. Средства, защищающие остекление, снижают температуру стекол на 6–49 % и значительно уменьшают долю проходящего через остекление теплового потока. В результате применения всех без исключения средств тепловой защиты температура воздуха в кабине снижается на 5–45 %, а суммарный тепловой поток внутри кабины – на 10–76 %.

4. На основании предельных тепловых параметров микроклимата в кабине определена теплоустойчивость кабин автомобилей при использовании различных средств тепловой защиты. Предложенные комплексы

теплозащитных средств позволяют поднять уровень теплоустойчивости кабины пожарного автомобиля на 15–40 %, а экспресс-средство – почти в 2,5 раза. Использование комплексов теплозащитных средств позволяет при тушении открытого пожара увеличить время безопасной работы спасателей в кабине автомобиля на 50–75 %, либо уменьшить расстояние от работающего автомобиля до фронта пламени в 1,5–2 раза.

5. Получила дальнейшее развитие методика графоаналитического определения теплоустойчивости кабин, позволяющая с достаточной точностью на ранних стадиях определять время безопасного нахождения спасателей в кабине и тепловых разрушений конструкции автомобиля. Использование при анализе 3-й производной по времени от температуры воздуха в кабине позволило ускорить выдачу прогноза на 35–40 % (раньше на 70–110 с), по сравнению с использованием при анализе 2-й производной. В некоторых случаях разработанный метод является единственно возможным, так как существующий метод при интенсивностях теплового потока более 14 кВт/м^2 выдает прогноз уже после наступления предельного состояния микроклимата в кабине.

6. Разработаны номограммы для определения приспособленности грузовых и пожарных автомобилей к работе в условиях мощных тепловых воздействий, и предложено электронное устройство для оперативного оповещения спасателей о возможном наступлении предельных параметров микроклимата в кабине.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой представлено решение актуальной научно-технической задачи обеспечения безопасности спасателей в кабинах пожарных автомобилей при тушении крупных открытых пожаров за счет оборудования кабин эффективными средствами пассивной тепловой защиты.

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

1. Использование новых конструкционных материалов и технологических процессов приводит к изменению условий развития пожара и тактики его тушения. Создание новых огнетушащих средств вызывает необходимость работы передвижной пожарной техники в непосредственной близости от фронта пламени.

При этом продолжительность боевой работы пожарного автомобиля, определяемая временем расходования вывозимых огнетушащих веществ, становится соизмеримой (или даже превышает) со временем наступления предельного состояния микроклимата в кабине и тепловых повреждений конструкции автомобиля. Следовательно, тактико-технические возможности пожарных автомобилей при решении некоторых задач на пожаре и безопасность работы спасателей в кабинах полностью определяются приспособленностью их к воздействию мощного теплового излучения.

2. Выполнен анализ общего теплового баланса кабины автомобиля и определен порядок величин его составляющих. Разработаны частные методики и экспериментально определены значения теплоступлений в кабину от работающего двигателя автомобиля: на холостом ходу 200–210 Вт и при работе на насос 360–410 Вт; от членов экипажа: в покое 75–85 Вт, при управлении автомобилем 200–230 Вт, при управлении лафетным стволом 170–210 Вт.

3. Впервые установлены закономерности нестационарного теплообмена открытого пожара с конструкциями кабины автомобиля, учитывающего разницу в поглощении теплоты непрозрачными ограждениями кабины и ее остеклением, а также особенности теплопередачи в воздушных прослойках конструкций. При воздействии теплового потока температура стекла (за счет объемного характера теплопоглощения) превышает температуру металлических стенок на 12 %. Кроме того, остекление пропускает 8–32 % теплового излучения пожара внутрь кабины. Ограждения с воздушными прослойками при интенсивностях теплового потока до $2,5 \text{ кВт/м}^2$ ведут себя как сплошные стенки с эквивалентными теплофизическими параметрами, при увеличении мощности теплового потока термическое сопротивление стенок резко снижается за счет теплообмена излучением в прослойках, и температура внутренней поверхности обогреваемой стенки с воздушной прослойкой превышает температуру аналогичной сплошной стенки на 35 % и более.

4. Разработан алгоритм и программа численного решения, позволяющая исследовать параметры микроклимата в кабине при воздействии на нее тепловых потоков открытого пожара. Программа апробирована на имеющихся экспериментальных данных для различных типов грузовых и пожарных автомобилей. Расхождения результатов теоретических вычислений с данными экспериментов не превышают 12–17 % – для стенок кабины и 15–22 % – для светопрозрачных ограждений, что достаточно для большинства инженерных расчетов.

5. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность средств пассивной тепловой защиты кабины пожарного автомобиля с целью обеспечения безопасного микроклимата в ней. Установлено, что средства, защищающие непрозрачные ограждения кабины, снижают температуру стенок на 13–70 % и практически не влияют на температуру стекол. Средства, защищающие остекление, снижают температуру стекла на 6–49 % и значительно уменьшают долю проходящего через

остекление теплового потока. В результате применения всех без исключения средств тепловой защиты температура воздуха в кабине снижается на 5–45 %, а суммарный тепловой поток внутри кабины – на 10–76 %.

6. По предельным величинам параметров микроклимата определены границы теплоустойчивости кабин серийных автомобилей и автомобилей с различными средствами тепловой защиты. Предложенные комплексы теплозащитных средств позволяют повысить уровень теплоустойчивости кабины пожарного автомобиля на 15–40 %, а экспресс-средство – почти в 2,5 раза, тем самым при тушении открытого пожара увеличить время безопасной работы спасателей в кабине на 50–75 %, либо уменьшить расстояние от работающего автомобиля до фронта пламени в 1,5–2 раза.

7. Получил дальнейшее развитие метод прогнозирования предельных параметров микроклимата в кабине автомобиля, основанный на анализе динамики скорости нарастания температуры в кабине. Метод позволяет прогнозировать параметры микроклимата за 70–200 с до момента их достижения. При интенсивностях теплового потока более 14 кВт/м^2 разработанный метод является единственно возможным, так как ранее разработанный метод выдает прогноз уже после наступления предельного состояния микроклимата в кабине.

Результаты диссертационной работы использованы при разработке «Рекомендаций по оборудованию автомобилей пожарно-спасательных подразделений средствами противотепловой защиты», которые используются в деятельности Государственного учреждения «Донбасспожтехника» (г. Зугрес), а также направлены для изучения и внедрения на предприятия по изготовлению пожарных автомобилей Украины и России.

Внедрение результатов исследований позволит получить социальный и условный экономический эффект, связанный с обеспечением безопасности боевой работы подразделений пожарно-спасательной службы МЧС.

Уменьшение расстояния от работающего пожарного автомобиля до фронта пламени обеспечит повышение эффективности тушения пожара и даст возможность несколько снизить ущерб от него.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобили, автобусы и мотоциклы оперативных служб. Цветографические схемы, опознавательные знаки, надписи, специальные световые и звуковые сигналы. Общие требования: ГОСТ Р 50574-2002. Введ. 2004-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 98 с. – (Государственный стандарт Российской Федерации).
2. Автомобиль ЗИЛ-130 и его модификации / Инструкция по эксплуатации. – М.: ЗИЛ, ЦБТИ, 1964. – 272 с.
3. Автомобиль ЗИЛ-131 и его модификации / Руководство по эксплуатации. – М.: Машиностроение, 1977. – 360 с.
4. **Ажаев, А.Н.** Влияние высокой температуры на работоспособность человека / А.Н. Ажаев, В.И. Зорилэ, А.Н. Кольцов // Космическая биология и авиакосмическая медицина, 1980. – С. 35–38.
5. **Аксенов, П.В.** О системном подходе к прикладной науке по автомобилю / П.В. Аксенов // Автомобильная промышленность, 1975, № 5. – С. 28–30.
6. **Алексашенко, А.А.** Тепломассоперенос при пожаре / А.А. Алексашенко, Ю.А. Кошмаров, И.С. Молчадский. – М.: Стройиздат. – 1982. – 176 с.
7. **Алексеев, А.П.** Правила дорожного движения 2015 с иллюстрациями: официальное издание / А.П. Алексеев. – М.: ООО «Издательство «ЭКСМО», 2014. – 161 с.
8. **Алифанов, О.В.** Обратные задачи теплообмена: Монография / О.В. Алифанов. – М.: Машиностроение, 1988. – 280 с.
9. **Атабеков, И.У.** Сложный теплообмен в закрытом помещении / И.У. Атабеков, И.С. Молчадский // Вопросы вычислительной и прикладной математики, Вып. 73. – М., 1984. – С. 75–82.

10. **Атабеков, И.У.** Сопряженная задача сложного теплообмена при пожарах в судовом помещении / И.У. Атабеков, И.С. Молчадский, И.Р. Хасанов // Противопожарная защита судов. – Севастополь, 1983. – С. 21–25.
11. **Атабеков, И.У.** Численное решение сопряженной задачи теплообмена в замкнутом объеме / И.У. Атабеков, И.С. Молчадский // Вопросы вычислительной и прикладной математики, Вып. 67. – М., 1982. – С. 85–93.
12. **Афанасьева, Н.Ю.** Вычислительные и экспериментальные методы научного эксперимента: Учебное пособие / Н.Ю. Афанасьева. – М.: КлоРус, 2010. – 329 с.
13. **Бабалов, А.Ф.** Промышленная теплозащита в металлургии / А.Ф. Бабалов. – М.: Металлургия. – 1971. – 359 с.
14. Безопасность машин. Температуры касаемых поверхностей. Эргономические данные для установления предельных величин горячих поверхностей (EN 563-94): ГОСТ Р 51337-99. Введ. 2000-07-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 17 с. – (Государственный стандарт Российской Федерации).
15. **Безбородько, М.Д.** Охрана труда и техника безопасности в пожарной охране / М.Д. Безбородько, П.П. Алексеев, А.Ю. Байков // Итоги науки и техники, т.7: Пожарная охрана. – М., 1967.
16. **Белов, С.В.** Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование: Справочник / С.В. Белов, А.Ф. Козьяков, О.Ф. Партолин. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.
17. Взрывобезопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.010-76. Введ. 1978-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 7 с. – (Система стандартов безопасности труда. Межгосударственный стандарт).
18. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования: ГОСТ 12.1.005-88. Введ. 1989-01-01. – М.: ФГУП «Стандартинформ»

2005. – 49 с. – «Система стандартов безопасности труда. Межгосударственный стандарт»).
19. **Волович, В.Г.** Человек в экстремальных условиях природной среды / В.Г. Волович. – М.: Мысль, 1983. – 223 с.
 20. **Глушков, Л.А.** Защита от перегревов в горячих цехах / Л.А. Глушков. – М.: Metallurgizdat, 1963. – 215 с.
 21. **Донской, А.П.** Пожарные автомобили: учебник для пожарно-технических училищ / А.П. Донской, М.П. Захаров, М.Ф. Щербаков. – Л.: Машиностроение, 1975. – 336 с.
 22. **Драйздейл, Д.** Введение в динамику пожаров: [пер. с англ.] / Д. Драйздейл. – М.: Стройиздат, 1990. – 424 с. – Перевод изд.: An Introduction to Fire Dynamics / D. Drysdale. – John Wiley and Sons, Chichester, 1985. (в пер.).
 23. **Дульнев, Г.Н.** Применение ЭВМ для решения задач теплообмена: Учебное пособие / Г.Н. Дульнев, В.Г. Парфенов, А.В. Сигалов. – М.: Высшая школа, 1990. – 207 с.
 24. **Дяглев, А.Ф.** Полигонные испытания пожарного автомобиля на воздействие теплового излучения при пожаре / А.Ф. Дяглев, В.А. Иванов // Средства противопожарной защиты – М.: Сборн. ВНИИПО, 1993. – С. 9–13.
 25. **Желваков, Е.М.** Обеспечение технической готовности и работоспособности пожарных автоцистерн объектов пожарных частей в условиях низких температур: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» / Е.М. Желваков. М., 2001. – 24 с.
 26. **Иванников, В.П.** Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.
 27. **Иванов, Е.Н.** Расчет и проектирование систем пожарной защиты / Е.Н. Иванов. – М.: Химия, 1977. – 376 с.

28. Инновационная технология ослабления тепловых и газовых потоков / Брушлинский Н.Н. [и др.] // Пожаровзрывобезопасность, 2013, том 22, №5. – С. 71–78.
29. Исследование причин возгорания автотранспортных средств: учебное пособие / Под ред. А.И. Колмакова. – М.: ГУ ЭКЦ МВД России, 2003. – 82 с.
30. **Исхаков, Х.И.** Защита автотранспортных средств от воздействия тепловых потоков пожара: дис. ... доктора техн. наук: 05.05.03, 05.26.01 / Исхаков Харис Исхакович. – М., 1991. – 338 с.
31. **Исхаков, Х.И.** Математическая модель теплообмена в кабине автомобиля / Х.И. Исхаков, В.М. Астапенко, А.Н. Шевляков. – М.: Библиоуказатель СИФ МВД СССР, 1988, №4. – 9 с.
32. **Исхаков, Х.И.** Оценка воздействия тепловых потоков пожара на цистерну автомобиля для транспортировки нефтепродуктов / Х.И. Исхаков, Р.Ш. Хабибулин // Пожаровзрывобезопасность, 2003, №1. – С. 75–80.
33. **Исхаков, Х.И.** Пожарная безопасность автомобиля / Х.И. Исхаков, А.В. Пахомов, Я.Н. Каминский. – М.: Транспорт, 1987. – 88 с.
34. **Исхаков, Х.И.** Эффективная эксплуатация основных пожарных автомобилей при низких температурах: монография / Х.И. Исхаков, В.Н. Ложкин, М.А. Савин. – Екатеринбург: УрИ ГПС МЧС России, 2010. – 354 с.
35. **Кисляк, Ю.М.** Безопасность боевых расчетов в кабинах-салонах пожарных автомобилей при воздействии теплового излучения пожара: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Кисляк Ю.М. – М., 1985. – 215 с.
36. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей: ГОСТ 16350-80. Введ. 1081-07-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 92 с. – (Межгосударственный стандарт).

37. **Кондратьев, К.Я.** Актинометрия / К.Я. Кондратьев. – Л.: ГИМИЗ, 1965. – 691 с.
38. **Кох, П.И.** Климат и надежность машин / П.И. Кох. – М.: Машиностроение, 1981. – 176 с.
39. **Кох, П.И.** Надежность горных машин при низких температурах / П.И. Кох. – М.: Недра, 1975. – 192 с.
40. **Коханенко, В.Б.** Выбор схемы пожарно-спасательного вездехода для комплектации им пожарного поезда / В.Б. Коханенко, А.М. Яковлев, В.Г. Баркалов // Збірник наукових праць ДонІЗТ, 2014, №37. – С. 134–138.
41. **Кошмаров, Ю.А.** Термодинамика и теплопередача в пожарном деле: Учебник для высших учебных заведений / Ю.А. Кошмаров, М.П. Башкирцев. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1987. – 444 с.
42. Критерии оценки теплового состояния человека для обоснования нормативных требований к производственному микроклимату / Р.Ф. Афанасьева, Г.Н. Репин, Л.В. Павлухин, Ф.М. Шлейфман, Л.А. Басаргина // Гигиена и санитария, 1983, №7. – С. 79–81.
43. **Макарова, Е.А.** Распределение энергии в спектре Солнца и Солнечная постоянная / Е.А. Макарова, А.В. Харитонов. – М.: Наука, 1972. – 288 с.
44. **Малявина, Е.Г.** Теплотери здания: справочное пособие / Е.Г. Малявина. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. – 144 с.
45. Материалы неметаллические для отделки интерьера автотранспортных средств. Метод определения огнеопасности: ГОСТ 25076-81. Введ. 1983-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 6 с. – (Межгосударственный стандарт).
46. **Михайлов, В.А.** Средства нормализации микроклимата и оздоровления воздушной среды в кабинах тракторов: учебное пособие / В.А. Михайлов, Н.Н. Шарипова. – М.: МГТУ «МАМИ», 2002. – 90 с.
47. **Михайлов, М.В.** Микроклимат в кабинах мобильных машин. / М.В.

- Михайлов, С.В. Гусева. – М.: Машиностроение, 1977. – 230 с.
48. **Михеев, М.А.** Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.
49. **Морозюк, Ю.В.** Обеспечение безопасности машин от воздействия теплового облучения пожаров лесоскладов капельной водяной защитой: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.26.01 «Охрана труда» / Ю.В. Морозюк. М., 1994. – 25 с.
50. **Налимов, В.В.** Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 340 с.
51. Обеспечение требуемого уровня защиты личного состава, участвующего в ликвидации пожаров аварийных фонтанов, от термического воздействия пламени с помощью теплозащитных устройств / Брушлинский Н.Н. [и др.] // Пожаровзрывобезопасность, 2005, №4. – С. 55–63.
52. Оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата на рабочих местах водителей автомобильного транспорта: гигиенический норматив. – Утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 14.06.2013 №47. – 1 с.
53. **Осипов, А.Г.** Повышение эффективности функционирования пожарного автомобиля в низкотемпературных условиях / А.Г. Осипов. – Иркутск: ВСИ МВД России, 2003. – 113 с.
54. Основные направления развития пожарной техники в системе Государственной противопожарной службы: учеб. пособие / Алешков М.В.[и др.]. – М: Академия ГПС МЧС России, 2010. – 267 с.
55. Отопительные установки О15 и О30: Инструкция по эксплуатации. – Шадринск, 1968. – 18 с.
56. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха (Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003): СП 60.13330.2012. – Офиц. изд. – М.: ФАУ «ФЦС»: Минрегион России, 2012. – 81 с. – (Свод

- правил Российской Федерации).
57. Оценка теплового состояния человека с целью обоснования гигиенических требований к микроклимату рабочих мест и мерам профилактики охлаждения и перегревания: МУК 4.3.1895-04. – Офиц. изд. – М.: Минздрав России, 2004. – 7 с. – (Нормы по санитарно-гигиеническому надзору).
 58. Оценка эффективности тушения пожаров твердых горючих материалов и веществ на открытом пространстве при использовании огнезащитных устройств / Брушлинский Н.Н. [и др.] // Пожаровзрывобезопасность, 2003, №3. – С. 42–46.
 59. Перспективы применения новых огнезащитных устройств на объектах нефтеперерабатывающей промышленности / Брушлинский Н.Н. [и др.] // Пожаровзрывобезопасность, 2004, №3. – С. 53–60.
 60. **Петров, С.В.** Теплозащита в металлургии: справочник / С.В. Петров, А.Ф. Шорин. – М.: Металлургия, 1981. – 120 с.
 61. **Пивоваров, В.В.** Проблемы и пути совершенствования пожарных автомобилей (анализ мировых тенденций) / В.В. Пивоваров, Ю.Ф. Яковенко // Гражданская защита, 2003, №8. – С. 14–18.
 62. **Пивоваров, В.В.** Совершенствование парка пожарных автомобилей России / В.В. Пивоваров. – М.: ВНИИПО, 2006. – 194 с.
 63. **Повзик, Я.С.** Пожарная тактика: Учебное пособие / Я.С. Повзик. – М.: ЗАО «Спецтехника», 2004. – 416 с.
 64. **Повзик, Я.С.** Справочник руководителя тушения пожара: Справочник / Я.С. Повзик. – М.: ЗАО «Спецтехника», 2004. – 361 с.
 65. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91. Введ. 1992-07-01. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2006. – 68 с. – (Система стандартов безопасности труда. Межгосударственный стандарт).
 66. Пожарная техника. Основные пожарные автомобили. Общие

- технические требования. Методы испытаний: НПБ 163-97*. – Офиц. изд. – М.: МВД России, 2000. – 101 с.
67. Пожарная техника: Учебник для слушателей и курсантов высших пожарно-технических образовательных учреждений МЧС России / Под ред. М.Д. Безбородько. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. – 550 с.
68. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения (ИСО 4590-94): ГОСТ 12.1.044-89. Введ. 1991-01-01. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2006. – 100 с. – (Система стандартов безопасности труда. Межгосударственный стандарт).
69. Правила дорожного движения Украины. – Офиц. изд. – Днепропетровск: Монолит, 2013. – 80 с.
70. Правила по охране труда в подразделениях Государственной противопожарной службы МЧС России: ПОТРО-01-2002. – М.: ВНИИПО, 2003. – 106 с.
71. Программа определения параметров теплообмена замкнутых систем с окружающей средой / Х.И. Исхаков, В.М. Астапенко, А.Н. Шевляков, В.В. Соколянский. – М.: ГФАП СССР №50900000305, 1990. – 72 с.
72. Прозрачные теплозащитные экраны. Типы. Требования безопасности: ОСТ 14-20-134-83. Введ. 1984-07-01. – М.: Минчермет СССР, 1984. – 32 с. – (Система стандартов безопасности труда. Отраслевой стандарт).
73. **Пустыльник, Е.И.** Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е.И. Пустыльник. – М.: Наука, 1968. – 288 с.
74. **Ракитский, Ю.В.** Численные методы решения жестких систем / Ю.В. Ракитский, С.М. Устинов, И.Г. Черноруцкий. – М.: Наука, 1979. – 324 с.
75. **Резник, Л.Г.** Научные основы приспособленности автомобиля к климатическим условиям: дис. ... доктора техн. наук: 05.05.03 / Резник Л.Г. – М., 1981. – 360 с.
76. **Резник, Л.Г.** Эффективность использования автомобилей в различных

- условиях эксплуатации / Л.Г. Резник, Г.М. Ромалис, С.Т. Чарков. – М.: Транспорт, 1989. – 128 с.
77. **Савин, М.А.** Пути и способы повышения приспособленности специальной мобильной техники к низкотемпературным условиям для их эффективной эксплуатации / М.А. Савин, Ф.Ш. Хафизов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2014, №6. – С. 606–633. URL: http://ogbus.ru/issues/6_2014/ogbus_6_2014_p606-633_SavinMA_ru.pdf
78. **Семенов, Н.В.** Эксплуатация автомобилей в условиях низких температур / Н.В. Семенов. – М.: Транспорт, 1993. – 190 с.
79. Стекло безопасное для наземного транспорта. Общие технические условия: ГОСТ 32565-2013. Введ. 2015-01-01. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 52 с. – (Межгосударственный стандарт).
80. **Степанов, И.С.** Автомобильные кузова и кабины (классификация, проектирование, аэродинамика, конструкция, безопасность, комфортабельность): монография / И.С. Степанов. – Saarbrücken Germany, LAMBERT Academic Publishing, 2013 – 460 с.
81. Строительная климатология (Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*): СП 131.13330-2012. – Офиц. изд. – М.: ФАУ «ФЦС»: Минрегион России, 2012. – 120 с. – (Свод правил Российской Федерации).
82. Тактика действий подразделений пожарной охраны при пожарах на автоцистернах для перевозки легковоспламеняющихся и горючих жидкостей: Рекомендации. – М.: ВНИИПО, 2004. – 47 с.
83. **Теребнев, В.В.** Справочник спасателя–пожарного / В.В. Теребнев, Н.С. Артемьев, В.А. Грачев. – М.; Центр пропаганды, 2006. – 294 с.
84. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В.М. Астапенко, Ю.А. Кошмаров, И.С. Молчадский, А.Н. Шевляков. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.
85. Техника пожарная. Требования безопасности: ГОСТ 12.2.037-

78. Введ. 1980-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 10 с. – (Система стандартов безопасности труда. Межгосударственный стандарт).
86. Техническая эксплуатация автомобилей // Под ред. Ю.С. Кузнецова. – М.: Наука, 2004. – 536 с.
87. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности: ГОСТ 12.2.002-91. Введ. 1992-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 61 с. – (Система стандартов безопасности труда. Государственный стандарт СССР).
88. **Тодосейчук, С.П.** Рациональный типаж аварийно-спасательных машин в системе МЧС России / С.П. Тодосейчук, К.И. Самойлов, Н.Г. Климачева. // Технологии гражданской безопасности, 2006, том 3 Вып. 1 С. 40-47.
89. **Торговников, Б.М.** Проектирование промышленной вентиляции: Справочник / Б.М. Торговников, В.Е. Табачник, Е.М. Ефанов. – Киев: Будівельник, 1983. – 256 с.
90. Транспорт дорожный, тракторы и машины для сельскохозяйственных работ и лесоводства. Определение характеристик горения материалов для отделки салона (ISO 3795:1989 MOD): ГОСТ 30879-2003. Введ. 2004-03-01. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2003. – 15 с. – (Межгосударственный стандарт).
91. Требования к условиям труда водителей автомобильного транспорта: санитарные нормы и правила. – Утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 14.06.2013 №47. – 5 с.
92. **Уемов, А.И.** Системный подход и общая теория систем: монография / А.И. Уемов. – М.: Мысль, 1978. – 272 с.
93. **Формалев, В.Ф.** Численные методы / В.Ф. Формалев, Д.Л. Ревизников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 398 с.

94. **Форсайт, Дж.** Машинные методы математических вычислений: [пер. с англ.] / Дж. Форсайт, М. Малькольм, К. Моулер. – М.: Мир, 1980. – 277 с. – Перевод изд. Computer methods for mathematical computations / George E. Forsythe, Michael A. Malcolm, Cleve B. Moler. Prentice-hall Inc. (в пер.).
95. **Халимов, А.Г.** Радиационные характеристики гелиотеплицы / А.Г. Халимов, Б.Э. Хайридинов, В.Д. Ким // Гелиотехника, 2009, №1. – С. 22–25.
96. **Хасанов, Р.Х.** О повышении противопожарной безопасности автомобилей / Р.Х. Хасанов, Е.С. Сидорин // Вестник Оренбургского гос. ун-та, 2011, № 10(129). – Оренбург. – С. 70–75.
97. **Хохряков, В.П.** Вентиляция, отопление и обеспыливание воздуха в кабинах автомобилей / В.П. Хохряков. – М.: Машиностроение, 1987. – 152 с.
98. **Цариченко, С.Г.** К вопросу о тепловой защите специальной техники / С.Г. Цариченко, Н.И. Константинова, О.В. Кривошапкина, В.В. Колесников // Известия ЮФУ, Технические науки, 2014, №1(150). – С. 247-249.
99. **Чвырев, В.Г.** Тепловой стресс. Руководство для врачей / В.Г. Чвырев, А.Н. Ажаев, Г.Н. Новожилов. – М.: Медицина, 2000. – 295 с.
100. **Чирко, А.С.** Обоснование параметров и разработка технических средств теплозащиты пожарного автомобиля водяными пленками от воздействия теплового излучения пожаров на открытых пространствах: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Чирко А.С. – М., 1988. – 177 с.
101. **Шарипов, В.** Климатическая комфортабельность колесных и гусеничных машин: монография / В. Шарипов, В. Михайлов, Н. Шарипова. – Saarbrücken Germany, LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 204 с.
102. **Шаровар, Ф.И.** Методы раннего обнаружения загораний. – М.:

- Стройиздат, 1988. – 336 с.
103. **Яковенко, Ю.Ф.** Концептуальні підходи к створенню і технічні рішення зарубіжних пожежних автомобілів нового покоління / Ю.Ф. Яковенко, К.Ю. Яковенко // Пожежовзривобезпека, 2003, №2. – С. 58-63.
 104. **Яковенко, Ю.Ф.** Пожежні автомобілі для захисту пожежоопасних об'єктів / Ю.Ф. Яковенко, К.Ю. Яковенко // Пожежовзривобезпека, 2003, №4. – С. 85-93.
 105. **Яковенко, Ю.Ф.** Шасі сучасних пожежних автомобілів / Ю.Ф. Яковенко, К.Ю. Яковенко // Пожежовзривобезпека, 2004, №1. – С. 50-58.
 106. **Яковенко, Ю.Ф.** Експлуатація пожежної техніки: справочник / Ю.Ф. Яковенко, А.И. Зайцев, Л.М. Кузнецов. – М.: Стройиздат, 1991. – 416 с.
 107. Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності: ДСТУ 2864-94. Введ. 1997-01-01. – Київ, Держстандарт України, 1995. – 62 с. – (Державний стандарт України).
 108. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними: ДСТУ 3004-95. Введ. 1997-01-01. – Київ, Держстандарт України, 1996. – 129 с. – (Державний стандарт України).
 109. Надійність техніки. Програма забезпечення надійності. Загальні вимоги: ДСТУ 2863-94. Введ. 1997-01-01. – Київ, Держстандарт України, 1995. – 86 с. – (Державний стандарт України).
 110. **Кузик, А.Д.** Оцінювання інтенсивності теплового потоку від поверхні полум'я / А.Д. Кузик, О.М. Трусевич, Т.М. Сало // Збірник наукових праць ЛДУ БЖД «Пожежна безпека», 2015, №26. – Львів. – С.103-109.
 111. **Луценко, Ю.В.** Математична модель пасивного теплового захисту людини в умовах пожежі / Ю.В. Луценко, О.Б. Васильєв, Є.А. Яровий // Сборник научных трудов НУГЗУ, Вып. 36. – Київ, 2014. – С. 150–154.
 112. **Нємий, С.В.** Дослідження теплової стійкості електричних проводів

- автомобіля // Збірник наукових праць ЛДУ БЖД «Пожежна безпека» №27. – Львів, 2015. – С. 104–109.
113. **Нємий, С.В.** Електрична мережа автомобіля як джерело пожежної небезпеки / С.В. Нємий, Т.В. Ребот // Збірник наукових праць ЛДУ БЖД «Пожежна безпека» №26. – Львів, 2015. – С. 116–122.
114. Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В.2.5-67:2013. – Офіц. вид. – Київ: Укрархбудінформ: Мінрегіон України, 2013. – 146 с. – (Державні будівельні норми України)
115. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: ДСН 3.3.6.042-99. – Офіц. вид. – Київ: МОЗ України, 1999.
116. **Siekman, H.** Determination of maximum temperatures that can be tolerated on contact with hot surfaces // *Applied Ergonomics* 1989, 20, 4, p. 313–317.
117. **Whitaker, Eric.** Where you cannot use building protection practices for travel // *Fire*. 1989, 82, NS 1011. p. 39.
118. **Wu, Y.C.** Control of Thermal Impact for Thermal Safety // *American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal*, Vol. 15, No. 5, May 1977, p. 674.

Приложение А

МИНИСТЕРСТВО ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ,
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ
ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

УТВЕРЖДАЮ

Министр по делам гражданской
обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных
бедствий ДНР,

Генерал-майор службы гражданской
защиты



А.А. Кострубицкий


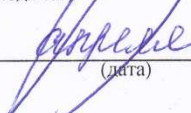
2016 г.

(дата)

РЕКОМЕНДАЦИИ

по оборудованию кабин автомобилей
пожарно-спасательных подразделений
средствами противотепловой защиты

Директор департамента пожарно-
спасательных сил и специальных
формирований МЧС ДНР,
полковник службы гражданской
защиты


(подпись) Д.В. Мотов
« 1 »  2016 г.
(дата)

Директор Государственного
научно-исследовательского
института горноспасательного
дела, пожарной безопасности
и гражданской защиты
«Респиратор» МЧС ДНР,
канд. техн. наук


(подпись) В.Г. Агеев
« 31 »  2016 г.
(дата)
М.П.

Донецк 2016 г.

Приложение Б



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»)

ул. Артема, 157, г. Донецк, 83048, тел. (062) 311-69-52, факс 311-69-43

Web: www.dnmchs.ru

Идентификационный код 51001452

E-mail: niigd@mail.ru

20 АПР 2016

№ 10/329

На № _____ от _____

В диссертационный совет Д 01.008.01
при Государственном высшем учебном
заведении «Донецкий национальный
технический университет»

СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы
инж. Соколянского Владимира Владиславовича на тему «Обеспечение
противотепловой защиты спасателей в кабине пожарного автомобиля»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 05.26.01 – «Охрана труда»

Настоящей Справкой подтверждается использование в Государственном научно-исследовательском институте горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР результатов диссертационной работы инж. Соколянского Владимира Владиславовича на тему «Обеспечение противотепловой защиты спасателей в кабине пожарного автомобиля».

Тема диссертации инж. Соколянского В.В. связана с Тематическим планом научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР на 2015–2016 годы. При выполнении в качестве ответственного исполнителя научно-исследовательской работы 11618067 «Разработать рекомендации по тепловой защите кабин пожарных автомобилей» инж. Соколянским В.В. были использованы результаты теоретических и экспериментальных исследований, полученные в диссертационной работе.

Данные «Рекомендации...» направлены для внедрения на Государственное предприятие «Донбасспожтехника» (г. Зугрес).

Использование «Рекомендаций...» при ремонте и оборудовании автомобилей пожарно-спасательных подразделений позволяет обеспечить безопасные условия работы экипажа пожарного автомобиля в условиях внешних тепловых потоков открытого пожара.

Директор



В.Г. Агеев

Приложение В



АКТ

внедрения и использования результатов
научно-исследовательской работы

Настоящим Актом подтверждается применение в производстве «Рекомендаций по оборудованию кабин автомобилей пожарно-спасательных подразделений средствами противотепловой защиты», разработанных на основе результатов диссертационной работы Соколянского В.В. «Обеспечение противотепловой защиты спасателей в кабине пожарного автомобиля».

Оборудованию специальными средствами противотепловой защиты подвергаются кабины пожарных автомобилей повышенной проходимости на шасси ЗИЛ, Урал, КамАЗ со стационарными лафетными стволами.

Предварительные расчеты показали, что оснащение автомобилей средствами противотепловой защиты незначительно увеличивает общую стоимость ремонтных работ. Вместе с тем ожидаемое время безопасной работы специально оборудованных пожарных автомобилей в непосредственной близости от фронта пламени увеличивается.

Директор



С.Н. Клавсутъ