

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»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Работа выполнена в Государственном научно-исследовательском институте горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики, г. Донецк.

Научный руководитель: доктор технических наук, старший научный сотрудник  
**Мамаев Валерий Владимирович**

Официальные оппоненты: **Олексюк Анатолий Алексеевич**  
доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, г. Макеевка

**Толкачев Олег Эдуардович**  
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой пожарной и спасательной подготовки Института гражданской защиты Донбасса, г. Донецк

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «**Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны**», г. Балашиха Московской области

Защита диссертации состоится « 24 » ноября 2016 г. в 14.00 часов на заседании специализированного совета Д 01.008.01 при ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, I учебный корпус, к. 203. Тел. факс: +38 (062) 304-30-55, E-mail: [vchenarada@dgту.donetsk.ua](mailto:vchenarada@dgту.donetsk.ua).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, II учебный корпус, адрес сайта университета: <http://donntu.org>.

Автореферат разослан «        » сентября 2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 01.008.01  
доктор технических наук, профессор



И.А. Бершадский

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы и степень ее разработанности.**

Для повышения эффективности тушения пожара современные пожарные автомобили оборудуют стационарными лафетными стволами для подачи огнетушащих веществ в зону горения. Из-за ограниченной дальности огнетушащей струи из лафетных стволов (10–60 м) передвижная пожарная техника вынуждена работать на сравнительно небольших расстояниях от фронта пламени. В этом случае автомобили подвергаются значительному тепловому воздействию. При этом продолжительность боевой работы (определяемая в общем случае временем расходования вывозимых огнетушащих веществ) становится соизмеримой или даже превышает время наступления предельного состояния микроклимата в кабине и тепловых повреждений конструкций автомобиля. Все это приводит к тому, что нередко случаи, когда пожарные автомобили выходят из строя, водители получают тепловые травмы, а поставленная задача остается невыполненной.

Тактико-технические возможности пожарного автомобиля определяются, кроме всего, приспособленностью его к воздействию мощных тепловых потоков открытого пожара. А поскольку управление автомобилем и лафетным стволом производится из кабины, эффективность и безопасность работы личного состава (спасателей) целиком определяется микроклиматическими условиями в ней.

Исследованиям микроклимата в кабинах транспортных средств и последствиям климатического воздействия на автомобиль посвящены работы П.И. Коха, М.В. Михайлова, В.П. Хохрякова и многих других. Экстремальными условиями 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 тепловой защиты и огнезащиты стационарных объектов подробно изучены А.Ф. Бабаловым, Л.А. Глушковым, С.В. Петровым, В.Н. Богословским, Н.Н. Брушлинским, М.Я. Ройтманом, А.Н. Сканави и другими.

Анализ результатов проведенных исследований показывает, что серийные пожарные автомобили не приспособлены к работе в условиях мощных тепловых потоков открытого пожара. Тем не менее, исследование стойкости автомобилей и условий работы спасателей в кабинах пожарных автомобилей в экстремальных условиях при ликвидации чрезвычайных ситуаций проводятся в недостаточном объеме и широкого распространения не получили. Действующие в настоящее время нормативные документы по технике безопасности и методам испытаний не содержат требований к пожарным автомобилям при возможном воздействии на них тепловых потоков открытого пожара.

В настоящее время при разработке новых моделей пожарных автомобилей предусматривают устройства тепловой защиты. Однако их основное назначение – принудительное снижение температуры наружных поверхностей автомобиля путем водяного орошения либо снижение интенсивности теплового излучения пожара созданием водяных завес. Этот безусловно эффективный способ возможен только при стационарной работе пожарного автомобиля на водистоичнике и проблематичен в условиях движения. Другие (пассивные) средства тепловой защиты на пожарные автомобили устанавливаются «кустарно» на местах, без достаточных обоснований их эффективности.

Следовательно, задача обеспечения безопасности спасателей в кабинах пожарных автомобилей при работе вблизи фронта пламени продолжает оставаться актуальной. Это обусловило выбор темы диссертации и цель работы.

### **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:

а) выполнить анализ последствий теплового воздействия открытого пожара на пожарный автомобиль и спасателя в его кабине;

б) выполнить теоретические исследования процесса нестационарного теплообмена окружающей среды с непрозрачными и светопрозрачными ограждениями кабины автомобиля;

в) провести экспериментальные исследования процессов внешнего теплового воздействия на кабину автомобиля и определить границы применимости разработанной математической модели;

г) 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;

д) разработать методику прогнозирования параметров микроклимата в кабине 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 материалов ее тепловой защиты.

**Методы исследований.** При выполнении диссертационной работы использовался комплексный подход, содержащий: анализ и обобщение научных результатов, ранее полученных другими авторами; математическое моделирование теплообменных процессов при внешнем тепловом воздействии на автомобиль; 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  $2,5 \text{ кВт/м}^2$

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. Сходимость 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 ранних стадиях определять время безопасного нахождения спасателей в кабине автомобиля. Так при интенсивности теплового потока более  $14 \text{ кВт/м}^2$  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; удовлетворительной 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 работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались 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.** Основные положения диссертации изложены в 17 работах, опубликованных в научных изданиях и сборниках докладов научно-практических конференций Украины, России, Австрии, Германии, Великобритании, США, Республики Казахстан, Республики Беларусь, Донецкой Народной Республики: в том числе 8 статей и 3 доклада – в рецензируемых научных изданиях.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения с основными выводами, списка литературы из 118 названий и 3 приложений. Работа изложена на 152 страницах машинописного текста, содержит 40 рисунков и 16 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**ВО ВВЕДЕНИИ** обоснована актуальность темы, представлены цель и задачи исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту.

**В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ** приведены результаты анализа последствий воздействия тепловых факторов окружающей среды на микроклимат в кабине автомобиля и современных исследований по обеспечению безопасности спасателей при тушении открытых пожаров.

При создании пожарных автомобилей конструкция кабины грузового автомобиля, на базе которого пожарный автомобиль создается, значительным изменениям не

подвергается, салон боевого расчета устанавливается на базовом шасси сзади готовой кабины. При этом защита от воздействия окружающей среды сводится к предохранению спасателей в кабине от перегрева, переохлаждения, воздействия солнечной радиации и атмосферных осадков.

Вместе с тем условия работы пожарных автомобилей существенно отличаются от условий работы автомобилей общего назначения. Это отличие обусловлено возможным воздействием на автомобиль мощного теплового потока открытого пожара, в 10–50 раз превышающего солнечную радиацию. Это воздействие неизбежно приводит к изменению микроклиматических условий в кабине.

Анализ результатов исследований показывает, что конструкции кабин серийных пожарных автомобилей из-за отсутствия специальных средств тепловой защиты не обеспечивают безопасного микроклимата в кабине при воздействии тепловых потоков пожара. Поэтому иногда автомобили не удается установить на необходимое расстояние от фронта пламени, они получают значительные повреждения, а спасатели – травмы от тепловых воздействий.

Исследованию параметров микроклимата в кабинах автомобилей посвящены работы многих авторов. Наиболее полно расчетные методы описаны в работах М.В. Михайлова, Ю.М. Кисляка – для стационарного и Х.И. Исхакова – для нестационарного теплового режима. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки.

Так методы расчета для стационарного теплового режима не позволяют анализировать динамику нагрева ограждающих конструкций кабины. Подобные методы пригодны только для постоянных или медленно меняющихся внешних условий (например, для сельскохозяйственной или строительной техники) и не учитывают возможность кратковременной работы пожарного автомобиля в зоне теплового воздействия пожара. Существующий расчетный метод для нестационарного режима не учитывает теплообмен конвекцией и излучением в воздушных прослойках ограждающих конструкций, ограждения с воздушными прослойками рассматриваются как сплошные конструкции с эквивалентными теплофизическими параметрами. Также расчетные методы Ю.М. Кисляка и Х.И. Исхакова не учитывают объемный характер поглощения излучения остеклением кабины и проникновение части теплового излучения внутрь нее через окна.

В результате перечисленные методы расчета дают заниженные значения по сравнению с данными натурных экспериментов, причем расхождение результатов составляет от 15 до 35 % в зависимости от мощности воздействующего на кабину теплового потока.

Вышеизложенное выявило целесообразность исследования процессов нестационарного теплообмена открытого пожара с кабиной автомобиля с целью выбора эффективных средств ее тепловой защиты и обеспечения безопасных условий работы спасателей.

**ВТОРАЯ ГЛАВА** посвящена теоретическому исследованию нестационарных теплообменных процессов в ограждениях кабины автомобиля.

Конструкция кабины пожарного автомобиля определяется его типом и назначением, однако основное различие состоит лишь в размерах конструктивных элементов и номенклатуре используемых материалов. Это позволяет кабину

пожарного автомобиля представить в формализованном виде (рисунок 1).

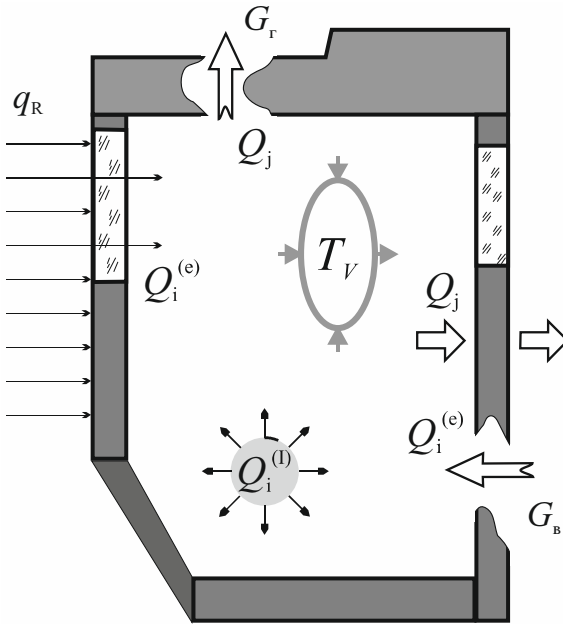


Рисунок 1. Схематическое изображение теплового баланса кабины автомобиля

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 автомобиля в общем случае имеет вид:

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

где  $Q_i$  – теплоступление в кабину: (e) – от источников снаружи кабины, (i) – от источников внутри кабины, Вт;  $Q_j$  – теплопотери кабины через необлучаемые поверхности ограждений, Вт.

Полагаем, что ограждающие конструкции кабины автомобиля состоят из  $N$  элементов, облучаемых тепловыми потоками  $q_k$  ( $k=1,2,\dots,N$ ). Для необлучаемого  $k$ -го элемента полагаем  $q_k=0$ . Пусть  $m$  первых элементов ограждения являются непрозрачными, а остальные  $N-m$  элементов – светопрозрачными.

Для определения тепловых параметров среды в кабине ставится задача нестационарного теплообмена, сопряженная через граничные условия по теплопотерям в выражении (1), состоящая из трех взаимосвязанных задач.

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

- уравнению теплопроводности

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

- граничному условию при  $x=0$

$$\lambda_k \cdot \frac{\partial T_k}{\partial x} + \alpha_k^{(e)} \cdot (T_s - T_k) \Big|_{x=0} = q_k - q_{лк}; \quad k=1,2,\dots,m; \quad (3)$$

- граничному условию при  $x=l_k$

$$\lambda_k \cdot \frac{\partial T_k}{\partial x} + \alpha_k^{(i)} \cdot (T_k - T_v) \Big|_{x=l_k} = q_{лк}; \quad k=1,2,\dots,m; \quad (4)$$

- начальным условиям

$$T_k(x,0) = T_0; \quad k=1,2,\dots,m, \quad (5)$$

где  $T_k$  – температура соответствующей поверхности элемента, °С;  $a_k$  – коэффициент



температуропроводности элемента,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $l_k$  – толщина элемента,  $\text{м}$ ;  $\lambda_k$  – коэффициент теплопроводности элемента,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;  $T_s$  – температура окружающей среды,  $^\circ\text{C}$ ;  $T_v$  – температура воздуха внутри кабины,  $^\circ\text{C}$ ;  $\alpha_k^{(i)}$  – коэффициент теплоотдачи элемента ограждения со стороны кабины,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ ;  $\alpha_k^{(e)}$  – коэффициент теплоотдачи элемента ограждения с наружной стороны кабины,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ ;  $q_{\text{лк}}$  – тепловой поток, излучаемый нагретым элементом ограждения в окружающую среду,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $T_0$  – температура среды внутри кабины в начальный момент времени,  $^\circ\text{C}$ .

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

- уравнению теплопроводности

$$\frac{\partial T_k}{\partial \tau} = a_k \cdot \frac{\partial^2 T_k}{\partial x^2} + q \cdot \frac{k_{\Pi}}{c_p \cdot \rho} \cdot e^{-k_{\Pi} x} ; \tau > 0, 0 \leq x \leq l_k, k=m+1, m+2, \dots, N; \quad (6)$$

- граничному условию при  $x=0$

$$\lambda_k \cdot \frac{\partial T_k}{\partial x} + \alpha_k^{(e)} \cdot (T_s - T_k) \Big|_{x=0} = q_k - q_{\text{лк}} - R q_k ; k=m+1, m+2, \dots, N; \quad (7)$$

- граничному условию при  $x=l_k$

$$\lambda_k \cdot \frac{\partial T_k}{\partial x} + \alpha_k^{(i)} \cdot (T_k - T_v) \Big|_{x=l_k} = q_{\text{лк}} ; k=m+1, m+2, \dots, N; \quad (8)$$

- начальным условиям

$$T_k(x, 0) = T_0 ; k=m+1, m+2, \dots, N, \quad (9)$$

где  $k_{\Pi}$  – средний интегральный коэффициент поглощения излучения материалом элемента,  $1/\text{м}$ ;  $R$  – коэффициент отражения материала элемента.

3) Задача определения среднеобъемных параметров состояния среды внутри кабины: температуры  $T_v$ , плотности  $\rho_v$ , давления  $P_v$ , удовлетворяющих следующим условиям:

- уравнению материального баланса

$$\frac{d}{d\tau} \cdot (\rho_v \cdot V_v) = G_B + \psi - G_{\Gamma} ; \quad (10)$$

- уравнению баланса энергии

$$\begin{aligned} \frac{K}{K-1} \cdot V \cdot \frac{dP_v}{d\tau} = & \sum_{i=1}^L E_{wi} + c_p \cdot T_s \cdot G_B - c_p \cdot T_v \cdot G_{\Gamma} + \\ & + \sum_{i=1}^m \alpha_k^{(i)} \cdot F_k \cdot [T_k(l_k, \tau) - T_v] + c_{\text{эм}} \cdot D \cdot q_k \end{aligned} ; \quad (11)$$

- уравнению состояния среды в кабине

$$\rho_V = \frac{P_V}{R_V \cdot T_V}; \quad (12)$$

- начальным условиям

$$T_V(0) = T_0; \quad P_V(0) = P_0; \quad \rho_V(0) = \rho_0, \quad (13)$$

где  $V$  – объем кабины,  $\text{м}^3$ ;  $G_{\text{в}}$  – расход воздуха, поступающего в кабину через неплотности,  $\text{кг/с}$ ;  $G_{\text{г}}$  – расход воздуха, уходящего из кабины,  $\text{кг/с}$ ;  $\psi$  – скорость выгорания (термического разложения) материалов конструкций с образованием газообразных продуктов,  $\text{кг/с}$ ;  $E_{\text{wi}}$  – мощность источников тепла, расположенных внутри кабины,  $\text{Вт}$ ;  $c_p$  – удельная теплоемкость воздуха,  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ;  $F_k$  – площадь поверхности  $k$ -го элемента,  $\text{м}^2$ ;  $D$  – средний интегральный коэффициент пропускания излучения светопрозрачным телом;  $c_{\text{эм}}$  – эмпирический коэффициент, показывающий долю проникшего в кабину теплового излучения, повышающего энергию среды.

Эквивалентные теплофизические характеристики элементов ограждения без воздушных прослоек определяются по формулам:

$$\lambda_{\text{э}} = \frac{\sum \lambda_i \cdot \delta_i}{\sum \delta_i}; \quad \rho_{\text{э}} = \frac{\sum \rho_i \cdot \delta_i}{\sum \delta_i}; \quad c_{p\text{э}} = \frac{\sum c_{p_i} \cdot \rho_i \cdot \delta_i}{\sum \rho_i \cdot \delta_i}. \quad (14)$$

При наличии в элементах воздушной прослойки каждый такой элемент рассматривается как отдельная замкнутая система, учитываются тепловые параметры среды внутри прослойки элемента, а также теплообмен конвекцией и излучением между стенками ограждений через воздушную прослойку.

Для рассмотренной системы уравнений (2) – (13) разработан алгоритм и программа численного решения, позволяющая рассчитывать параметры микроклимата в кабине автомобиля при воздействии тепловых потоков открытого пожара и оценивать влияние на них геометрических и теплофизических свойств материалов ограждений.

Результаты расчетов позволяют теоретически исследовать состояние ограждающих конструкций кабины при воздействии внешних источников теплоты, а также влияние теплофизических свойств конструктивных материалов и различных способов тепловой защиты кабины на микроклимат в ней.

**В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ** изложены результаты экспериментальных исследований процессов теплообмена окружающей среды с кабиной автомобиля.

В ходе экспериментов изучались: характер и особенности теплового воздействия пожара на автомобиль; температурные поля в ограждающих конструкциях кабины; параметры микроклимата в кабине автомобиля; поведение ограждающих конструкций при внешнем тепловом воздействии.

Тепловые параметры микроклимата в кабинах автомобилей исследовались в полномасштабных натурных экспериментах по климатическому воздействию и по воздействию тепловых потоков пожара.

Программа проведения огневых экспериментов предусматривала все возможные случаи работы автомобилей в зоне теплового воздействия пожара (рисунок 2):

- а) подъезд к зоне горения (нагреву подвергается передняя сторона кабины);
- б) объезд места пожара (нагреву подвергается боковая сторона кабины);

в) проезд зоны горения или маневрирование в ней (нагреву подвергаются обе боковых или боковая и передняя стороны кабины).

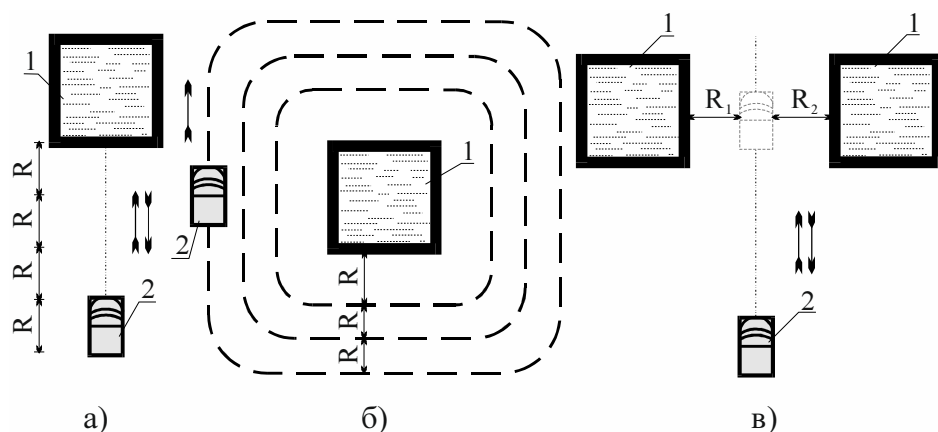


Рисунок 2.  
Схемы проведения испытаний пожарных автомобилей:  
1 – емкость с горючей жидкостью;  
2 – объект испытаний.

В качестве источника теплового излучения заданной мощности использовались емкости с горючей жидкостью.

Плотность теплового потока регулировалась изменением количества горящих емкостей и расстояния  $R$  от автомобиля до факела пламени.

Испытания проводились при неподвижном и движущемся автомобиле, причем движение автомобиля в зоне воздействия теплового излучения осуществлялось на скорости, при которой производится подача огнетушащих веществ через стационарный лафетный ствол (5–10 км/ч), с кратковременными остановками (на 10–15 с) и без остановок.

Исследования проводились с использованием методики рационального планирования эксперимента. Для получения достоверных результатов опытные данные обрабатывались методами математической статистики.

Результаты климатических испытаний показали, что при отключенной системе вентиляции кабины эксплуатация автомобилей в условиях жаркой климатической зоны невозможна. При температуре окружающей среды  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  и интенсивности прямой солнечной радиации  $0,9\text{ кВт/м}^2$  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  $79\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

При исследовании теплового воздействия на лобовое стекло автомобиля (см. рисунок 2,а) мощность теплового потока изменялась в пределах  $8,5\text{--}5,5\text{ кВт/м}^2$ . Расстояние от источника теплового излучения до автомобиля постепенно увеличивалось от 7,5 до 11,5 м. Ветер средней скоростью 2–3 м/с имел направление от автомобиля к источнику теплового излучения. Результаты испытаний представлены на рисунке 3.

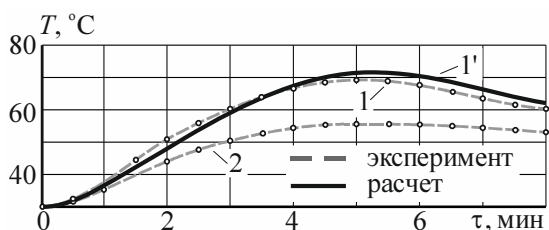


Рисунок 3. Изменение температуры в кабине автомобиля АЦ-40(130)63а при фронтальном тепловом воздействии: 1, 1' – на уровне головы в кабине водителя; 2 – на уровне головы в салоне боевого расчета

Исследования параметров микроклимата в кабине автомобиля при боковом воздействии тепловых потоков пожара (см. рисунок 2,б) производились при

температуре окружающей среды  $38^{\circ}\text{C}$ , скорости ветра  $1\text{--}5\text{ м/с}$ . Результаты представлены на рисунке 4.

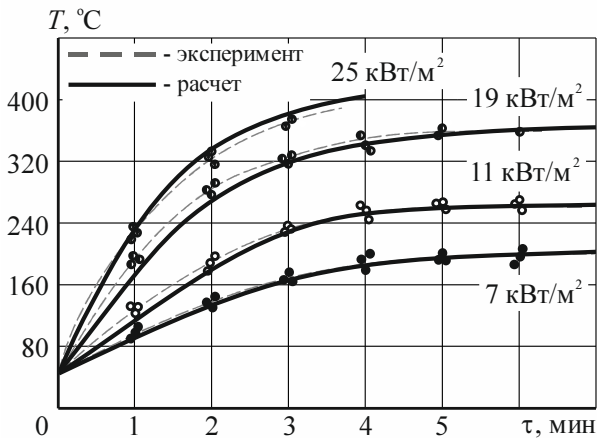
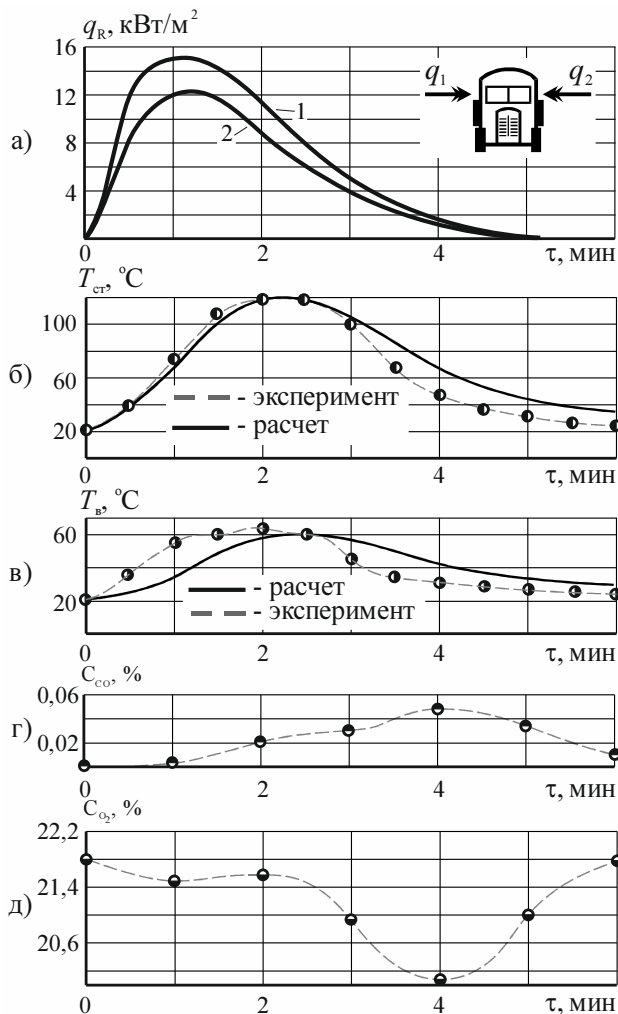


Рисунок 4. Изменение температуры наружной поверхности облучаемой двери кабины автомобиля АЦ-40(130)63а (до момента воспламенения лакокрасочного покрытия)

Таким образом, экспериментальным путем доказано, что воздействие тепловых потоков пожара приводит к резкому повышению температур стенок и воздуха в кабине, а при больших интенсивностях теплового потока – к обугливанию лакокрасочного покрытия ограждающих конструкций и разрушению остекления, а затем воспламенению интерьера кабины. То есть предел огнестойкости ограждений кабины пожарного автомобиля при малых тепловых потоках определяется временем прогрева конструкций до предельных температур, а при больших тепловых потоках – временем до разрушения остекления.

Результаты теплового воздействия на две боковые стенки кабины автомобиля (см. рисунок 2,в) при температуре окружающей среды  $22^{\circ}\text{C}$ , скорости ветра  $5\text{--}10\text{ м/с}$  и изменяющемся тепловом потоке максимальной мощностью  $12\text{--}16\text{ кВт/м}^2$  приведены на рисунке 5.



на рисунке 5.

Рисунок 5. 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

В процессе экспериментов также проводились замеры концентрации оксида углерода и кислорода в кабине. Установлено, что при кратковременном воздействии теплового потока концентрации кислорода и оксида углерода в кабине остаются в допустимых санитарными нормами пределах. Следовательно, для безопасного микроклимата определяющими являются именно тепловые параметры воздушной среды в кабине.

По условиям натуральных испытаний проводился 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.

Таким образом, выбор средств тепловой защиты кабины и исследование их эффективности возможно проводить с достаточной степенью точности путем математического моделирования.

**В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ** рассматриваются технические решения по тепловой защите кабины пожарного автомобиля, и сравнивается их эффективность. Также предложен метод прогнозирования времени безопасной эксплуатации автомобиля в зоне мощных тепловых воздействий.

Показано, что при мобильном использовании пожарных автомобилей должна применяться пассивная тепловая защита:

- теплоизоляция – заполнение воздушных прослоек 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) стенок ограждений со стороны воздушных прослоек материалами с высокими теплоотражательными свойствами для снижения температуры среды внутри прослоек и проникающего внутрь теплового потока;

- применение специального остекления кабин для снижения количества проникающей внутрь радиации;

- использование сеточной завесы на остеклении для снижения температуры стекол и уменьшения количества проникающей внутрь радиации.

Кроме приведенных индивидуальных средств тепловой защиты предложены их комплексы (рисунок 6).

В качестве комплексов теплозащитных средств, допускающих длительную эксплуатацию дооборудованного пожарного автомобиля, предложены: а) полностью заполненные минеральной ватой воздушные прослойки ограждений и листовое органическое стекло, установленное поверх окон автомобиля (комплекс №1); б) листовой войлок толщиной 15 мм, наклеенный на наружные стенки со стороны воздушных прослоек, альфоль, наклеенный на обе стенки ограждений со стороны воздушных прослоек и тонированное напылением остекление автомобиля (комплекс №2).

В качестве экспресс-средства теплозащиты, которым оборудуется автомобиль непосредственно на месте пожара, выбрали оклейку наружных поверхностей кабины альфолем, окон – алюминизированной полиэтилентерефталатной (лавсановой) пленкой.

Сравнение эффективности предложенных способов тепловой защиты кабин автомобилей производилось по значениям температур внутренних поверхностей облучаемых ограждений, температуре воздуха и суммарному тепловому потоку внутри кабины. За эталон микроклимата в кабине были приняты значения параметров

в кабине серийного автомобиля (без средств теплозащиты). Эффективность различных средств тепловой защиты, определяемая по величине снижения тепловых параметров относительно эталона, приведена в таблице 1.

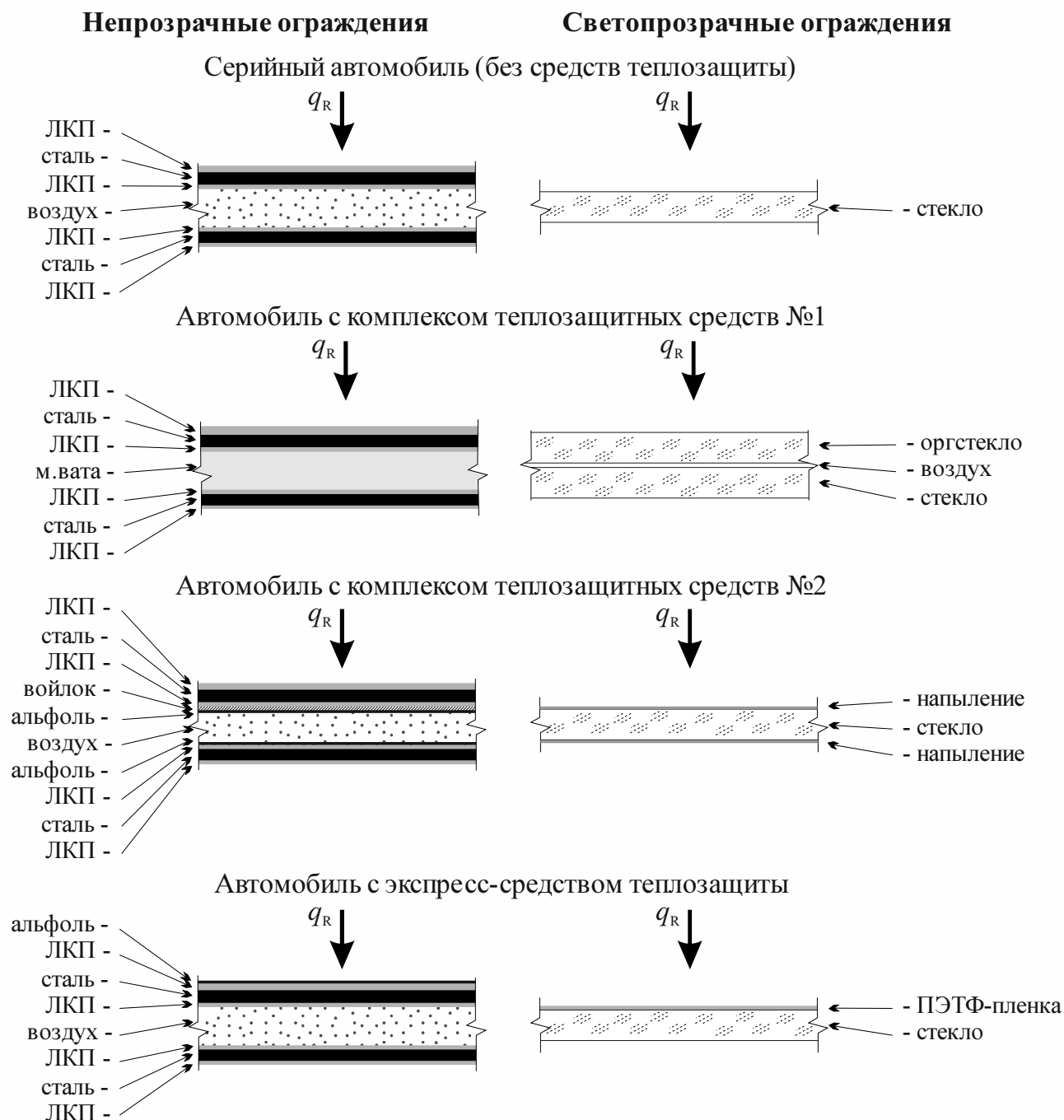


Рисунок 6. Схемы комплексов теплозащитных средств кабины автомобиля

Рассмотренные способы тепловой защиты позволяют при некоторых уровнях внешнего теплового воздействия сохранять в кабине безопасные микроклиматические условия, то есть обеспечивают теплоустойчивость кабины.

Эффективность экранирования ограждений кабины как средства теплозащиты была подтверждена экспериментально. Для этого автомобиль с экранами в воздушных прослойках и на остеклении подвергался воздействию тепловых потоков при температуре окружающей среды  $30^\circ\text{C}$  и скорости ветра 1 м/с. Результаты исследований приведены на рисунке 7.

## Эффективность пассивной тепловой защиты кабины автомобиля

Способ тепловой защиты кабины автомобиля	Степень снижения, %			
	характерных температур			теплого 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 средств №1	16 – 30	21 – 23	23 – 38	65 – 67
Комплекс теплозащитных средств №2	33 – 36	10 – 16	27 – 30	37 – 47
Экспресс-средство теплозащиты	68 – 75	53 – 55	50 – 69	90 – 92

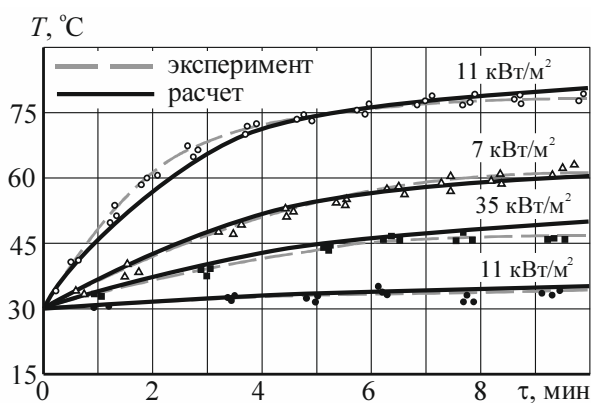


Рисунок 7. Изменение температуры воздуха на уровне головы водителя в кабине пожарного автомобиля без средств защиты (светлые точки) и с экранированием кабины (темные точки)

Установлено, что экранирование кабины автомобиля позволило снизить температуру воздуха в кабине почти на 55 %.

Для определения границ теплоустойчивости кабин были проанализированы существующие санитарно-гигиенические нормы и современные физиологические исследования. Согласно им, с учетом специфики работы пожарных автомобилей (ограниченное время работы в зоне действия опасных факторов пожара, боевая одежда у спасателя, отсутствие боевой одежды у водителя), предельными параметрами микроклимата в кабине являются: температура воздуха  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температуры внутренних поверхностей ограждений  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , интенсивность суммарного теплового потока внутри кабины  $2,5\text{ кВт/м}^2$ . С учетом этих значений в работе были определены границы теплоустойчивости кабин автомобилей с различными средствами тепловой защиты (таблица 2).

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что наибольшей теплоустойчивостью обладает автомобиль, оборудованный комплексами теплозащитных средств. Поэтому предложенные комплексы могут рекомендоваться к

внедрению в подразделения пожарно-спасательной службы МЧС.

Таблица 2

## Границы теплоустойчивости кабины автоцистерны АЦ-40(131)137

Способ тепловой защиты кабины	Плотность теплового потока, при котором сохраняется теплоустойчивость кабины, кВт/м <sup>2</sup>			
	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
Альфоль снаружи стенки	14,90	2,83	10,13	8,82
Окраска стенки снаружи	6,79	2,74	7,33	8,39
Альфоль на 1 стенке прослойки	5,91	2,64	6,50	8,29
Альфоль 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

По результатам исследований разработаны и утверждены «Рекомендации по оборудованию автомобилей пожарно-спасательных подразделений средствами противотепловой защиты».

Как показывает практика, 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 экипажа пожарного автомобиля необходимо не столько измерение параметров среды в кабине, сколько их прогнозирование. С этой целью на основании экспериментальных данных и результатов математического моделирования была решена обратная задача теплообмена – по результатам теплового воздействия восстановлена его мощность и продолжительность.

За основной контролируемый параметр было принято значение скорости изменения температуры воздуха внутри кабины, измеренное в определенный момент времени (равенство нулю третьей производной от температуры воздуха в кабине по времени). Определены эмпирические зависимости максимальной температуры в кабине, мощности падающего теплового потока и времени безопасного нахождения



спасателей в кабине от скорости роста температуры воздуха в кабине:

$$T_V^* = T_0 + B_1 \cdot V_T^{K_1}; \quad (15)$$

$$q_R = B_2 \cdot V_T^{K_2}; \quad (16)$$

$$\tau_{пр} = B_3 \cdot \exp\left(\frac{K_3}{T_V^*}\right), \quad (17)$$

где  $T_V^*$  – стационарная температура воздуха в кабине, °С;  $T_0$  – начальная температура воздуха в кабине, °С;  $V_T$  – измеренное значение скорости изменения температуры воздуха в кабине, °С/мин;  $q_R$  – мощность падающего теплового потока, кВт/м<sup>2</sup>;  $\tau_{пр}$  – предельное безопасное время нахождения спасателей в кабине, мин;  $B_1, K_1, B_2, K_2, B_3, K_3$  – эмпирические коэффициенты для конкретной марки автомобиля.

Также по известной эмпирической формуле возможно прогнозирование времени воспламенения горючих конструкций автомобиля в зависимости от величины падающего теплового потока:

$$\tau_B = A \cdot q_R^{-K}, \quad (18)$$

где  $\tau_B$  – время, через которое произойдет воспламенение (или самовоспламенение) материала (время индукции), с;  $q_R$  – мощность падающего теплового потока, кВт/м<sup>2</sup>;  $A, K$  – эмпирические коэффициенты для конкретного горючего материала.

По установленным зависимостям построены номограммы для определения теплоустойчивости кабин и пожарной безопасности автомобилей (рисунок 8), позволяющие оценить время безопасного нахождения спасателей в кабине при данном уровне внешнего теплового потока и время до тепловых повреждений или воспламенения конструкций автомобиля.

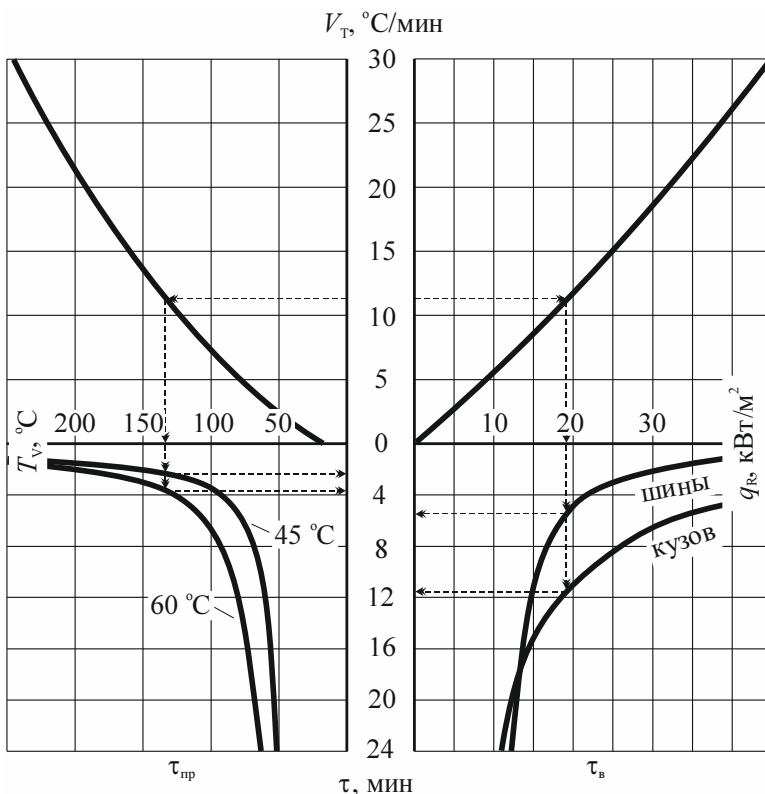


Рисунок 8. Номограмма для определения теплоустойчивости кабины и пожарной безопасности автомобиля ЗИЛ-130

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 ( $\tau_B$ ).

На номограмме представлен ключ к использованию. Пусть измеренное значение скорости роста температуры в кабине составило  $11,5$  °С/мин. Отсюда по левой части номограммы определяем, что максимальное значение температуры в кабине составит  $134,5$  °С, через  $130$  с температура в кабине достигнет максимально допустимой для человека величины  $45$  °С, а через  $202$  с – предельно переносимой величины  $60$  °С. По правой части номограммы определяем, что средняя интенсивность теплового потока, действующего на кабину в данный момент, составляет  $19,5$  кВт/м<sup>2</sup>, через  $300$  с возможно воспламенение автомобильных шин, а через  $680$  с – деревянного кузова.

Простота полученных эмпирических зависимостей (15) – (18) позволяет создать электронное устройство, предупреждающее о возможности наступления предельных параметров микроклимата в кабине либо опасного состояния агрегатов и систем автомобиля. Установленное в кабине пожарного автомобиля подобное устройство позволит оперативно рассчитывать время безопасного нахождения в ней спасателей.

## 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  $14 \text{ кВт/м}^2$  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 ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- *статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных изданиях:*

1. **Соколянский, В.В.** Моделирование процесса теплообмена кабины автомобиля с окружающей средой / В.В. Соколянский // Вестник Донбасской государственной академии строительства и архитектуры, Вып. 95-1 (1). – Макеевка, 1995. – С. 142–147.

2. **Соколянский, В.В.** Аналитическое выражение для температуры светопрозрачных ограждений кабин автомобилей на пожаре / В.В. Соколянский // Вестник Донбасской государственной академии строительства и архитектуры, Вып. 96-3 (4). – Макеевка, 1996. – С. 161–163.

3. **Соколянский, В.В.** Способы тепловой защиты кабины пожарного автомобиля / В.В. Соколянский // Вестник Донбасской государственной академии строительства и архитектуры, Вып. 96-3 (4). – Макеевка, 1996. – С. 144–146.

4. **Соколянський, В.В.** Аналіз складових теплового балансу кабіни пожежного автомобіля при гасінні пожежі / В.В. Соколянський // Збірник наукових праць ЛДУ БЖД «Пожежна безпека», №27. – Львів, 2015. – С. 127–134.

5. **Sokolyanskiy, V.V.** Ways of increase of heat stability of a cabin of the fire truck // European science review, «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. – Vienna Austria, №7-8 2015. – pp. 148–151.

6. **Sokolianskiy, V.** Way of forecasting of time of safe work of fire fighting vehicles on suppression of the open fires // Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach. Vol. 3. Natural sciences & technical Sciences. – San Francisco California USA, B&M Publishing, 2015. – pp. 67–74 (in Russ).

7. **Мамаев, В.В.** Теплообменные процессы в остеклении кабин автомобилей / В.В. Мамаев, В.В. Соколянский // Научный вестник НИИГД «Респиратор», Вып. 52. – Донецк, 2015. – С. 59–67.

8. **Соколянский, В.В.** Анализ теплообменных процессов в кабине пожарного автомобиля при внешнем тепловом воздействии // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь №2 (24). – Минск, 2016. С. 62–71.

9. **Соколянский, В.В.** Тепловая защита кабин пожарных автомобилей / В.В. Соколянский // Перспективы развития научных исследований в 21 веке: сборник материалов 8-й международной научн.-практ. конф.(г. Махачкала, 28 июня 2015 г.). – Махачкала, ООО «Апробация», 2015. – С. 30–32.

10. **Соколянский, В.В.** Влияние тепловой защиты кабины пожарного автомобиля на параметры микроклимата в ней / В.В. Соколянский // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по материалам XLVIII-XLIX Междунар. научн.-практ. конф. (26 августа 2015 г.) №7-8 (44). – Новосибирск, Изд. «СибАК», 2015. – С. 53–58.

11. **Sokolianskii, V.V.** Experimental check of efficiency of means of ensuring of the safe microclimate in cabins of fire fighting vehicles // 3rd International Conference. «Technical sciences: modern issues and development prospects». – Sheffield Great Britain, 2015. – pp. 101–115 (in Russ).

- *публикации в других научных изданиях:*

12. **Соколянский, В.В.** Методика экспериментального исследования влияния тепловых потоков пожара на кабину пожарного автомобиля / В.В. Соколянский // Вестник Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан №3 (19). – Кокшетау, 2015. – С. 22–33.

13. **Мамаев, В.В.** Анализ результатов экспериментальных исследований стойкости кабин пожарных автомобилей к внешним тепловым воздействиям / В.В. Мамаев, В.В. Соколянский // Вестник института гражданской защиты Донбасса, Вып. 2 (2). – Донецк, 2015. – С. 16–25.

14. **Sokolianskii, V.V.** Theoretical researches of thermal impact of the open fire on a cabin of the fire fighting vehicle // European Science and Technology: 11th International scientific conference. – Munich Germany, 2015. – pp. 123–136 (in Russ).

15. **Соколянский, В.В.** Микроклимат в кабине пожарного автомобиля: тезисы / В.В. Соколянский, Х.И. Исхаков, Ю.А. Кошмаров // Зб. наук. пр. Міжнародної наук.-практ. конф. «Проблеми пожежної безпеки». – Київ: МВС України, 1995. – С. 162–163.

16. Программа определения параметров теплообмена замкнутых систем с окружающей средой / Х.И. Исхаков, В.М. Астапенко, А.Н. Шевляков, В.В. Соколянский. – М., ГосФАП СССР №50900000305, 1990. – 72 с.

17. **Соколянский, В.В.** Обеспечение безопасного микроклимата в кабинах пожарных автомобилей / В.В. Соколянский. – Saarbrücken Germany, LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 132 с.

#### **Личный вклад соискателя в работы, опубликованные в соавторстве:**

[7] – проведение теоретического исследования теплообменных процессов при внешнем тепловом воздействии на остекление кабины автомобиля, установление аналитических зависимостей для определения средней температуры остекления; [13] – разработка программы полномасштабных натурных экспериментов, исследование климатического воздействия на кабину автомобиля, математическая обработка ранее полученных экспериментальных данных; [15] – изучение существующих систем обеспечения микроклимата в кабинах пожарных автомобилей; [16] – разработка и отладка программы численного решения задачи теплообмена, описание программы, порядка ее применения, требований к исходным данным.

#### **АННОТАЦИЯ**

**Соколянский В.В. Обоснование параметров средств тепловой защиты спасателей в кабине пожарного автомобиля. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.01 – «Охрана труда» – 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, г. Донецк, 2016.

Защищаются результаты теоретических и экспериментальных исследований по обеспечению безопасных микроклиматических условий в кабине пожарного автомобиля при тушении открытого пожара.

Изучены теплообменные процессы в кабине автомобиля при внешнем тепловом воздействии. Разработаны методики экспериментального исследования процесса теплового воздействия открытого пожара на автомобиль и предложены способы тепловой защиты спасателей в кабинах автомобилей, произведено сравнение их эффективности. На основании предельных параметров микроклимата, характеризующих безопасность экипажа в кабине автомобиля на пожаре, определены пределы теплоустойчивости кабин с различными средствами пассивной тепловой защиты. Разработаны рекомендации по тепловой защите кабин пожарных автомобилей. Предложена методика графоаналитического определения теплоустойчивости кабин и пожарной безопасности автомобилей и реализующий ее электронный прибор, позволяющий с высокой точностью определять время безопасной работы спасателей в кабине в непосредственной близости к фронту пламени.

**Ключевые слова:** пожарный автомобиль; тепловой поток пожара; безопасные условия труда; микроклимат в кабине; тепловая защита; теплоустойчивость

## ABSTRACT

**Sokolianskii V.V. Substantiation of parameters of the heat protection of rescuers in the cabin of the fire-fighting vehicle – Manuscript.**

Thesis for a degree of Candidate of Sciences (Engineering) in speciality 05.26.01 – «Labour protection». – The «Respirator» State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work, Fire Safety and Civil Protection of the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defense Affairs, Emergencies, and Liquidation of Consequences of Natural Disasters, Donetsk, 2016.

The results of theoretical and experimental investigations on ensuring the safe microclimatic conditions in the cab of the fire-fighting vehicle by fighting the open fire are defended.

The heat exchange processes in the cab of the vehicle by the external thermal action are studied. The methods of the experimental investigation of the process of thermal influence of the open fire on the vehicle are worked out, and the means of the heat protection of the rescuers in the cabs of the vehicles are proposed. The comparison of their efficiency is done. On the grounds of the microclimate limiting parameters characterizing the safety of the crew in the cab of the vehicle on the fire the limits of heat stability of the cabs with various means of the passive heat protection are determined. The recommendations on the heat protection of the cabs of the fire-fighting vehicles are worked out. The methods of the graph-analytical determination of heat stability and fire safety of the vehicles and an electronic device that allows determining the time of the safe labour of the rescuers in the cab with high accuracy in close proximity to the flame front are proposed.

**Keywords:** fire-fighting vehicle; heat flow of the fire; safe labour conditions; microclimate

in the cab; heat protection; heat stability

## АНОТАЦІЯ

**Соколянський В.В. Обґрунтування параметрів засобів теплового захисту рятувальників в кабіні пожежного автомобіля. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.26.01 – «Охорона праці». – Державний науково-дослідний інститут гірничорятувальної справи, пожежної безпеки та цивільного захисту «Респіратор» Міністерства у справах цивільної оборони, надзвичайних ситуацій і ліквідації наслідків стихійних лих Донецької Народної Республіки, м. Донецьк, 2016.

Захищаються результати теоретичних і експериментальних досліджень по забезпеченню безпечних мікрокліматичних умов в кабіні пожежного автомобіля при гасінні відкритої пожежі.

Вивчено теплообмінні процеси в кабіні автомобіля при зовнішній тепловій дії. Розроблено методики експериментального дослідження процесу теплової дії відкритої пожежі на автомобіль і запропоновані способи теплового захисту рятувальників в кабінах автомобілів, зроблено порівняння їх ефективності. На підставі граничних параметрів мікроклімату, що характеризують безпеку екіпажу в кабіні автомобіля на пожежі, визначено межі теплостійкості кабін з різними засобами теплового захисту. Розроблено рекомендації по тепловому захисту кабін пожежних автомобілів. Запропоновано методику графоаналітичного визначення теплостійкості кабін і пожежної безпеки автомобілів, що дозволяє з високою точністю визначати час безпечної роботи рятувальників в кабіні в безпосередній близькості до фронту полум'я.

**Ключові слова:** пожежний автомобіль; тепловий потік пожежі; безпечні умови праці; мікроклімат в кабіні; тепловий захист; теплостійкість

Підписано в печать 16.09.2016. Формат 60×90 1/16.  
Бумага офсетная. Печать лазерная. Усл. печ. л. 0,97  
Тираж 100 экз. Заказ № 15