

В.И. Козлачков, И.А. Лобаев, В.В. Пleshakov, Д.Ю. Григорьев, Д.А. Вечтомов
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: maes29@mail.ru)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАХОДИВШЕЙСЯ В ПОМЕЩЕНИИ ДО ПОЖАРА МАССЫ ГОРЮЧЕЙ НАГРУЗКИ

Предлагается основные положения методики определения массы горючей нагрузки, находившейся в помещении до пожара, по результатам инструментальных исследований строительных конструкций.

Ключевые слова: масса горючей нагрузки, экспертиза пожара, степень термического повреждения.

V.I. Kozlachkov, I.A. Lobaev, V.V. Pleshakov, D.Yu. Grigorev, D.A. Vechtomov **IDENTIFICATION OF COMBUSTIBLE MATERIALS MASSES PLACED INDOORS BEFORE FIRE**

Guidelines of the identification method of combustible materials masses placed indoors before fire according to the results of instrumental research of the building constructions is proposed.

Key words: combustible materials mass, fire expertise, thermal damages degree.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 22 апреля 2016 г.

Современными исследованиями по организации работы с нормативной базой в области пожарной безопасности показана необходимость учёта количества горючей нагрузки в помещении при обосновании мер пожарной безопасности, предлагаемых к выполнению на объекте защиты [1]. Это определяет необходимость устанавливать массу горючей нагрузки, находившейся в помещении до пожара, при квалификации нарушений обязательных требований пожарной безопасности в случае расследований пожаров на таких объектах. В связи с этим возникает необходимость разработки **методики** определения такой массы. Основные положения предлагаемой методики изложены в данной статье.

В практике пожарно-технической экспертизы применяются методики инструментальных исследований, позволяющие проанализировать степень термического повреждения материалов, подвергшихся тепловому воздействию пожара. Такие методики применяются при определении места расположения очага пожара. Сложилось два способа формирования подобных методик. К первому способу относится построение кривой вида

$$I_p = f(\tau), \quad \text{при } T = \text{const}, \quad (1)$$

где I_p – измеряемый по методике параметр (показатель) исследуемого объекта;

T – температура, воздействовавшая на объект;

τ – время воздействия температуры на объект.

Ко второму способу относится изучение изменений показателей материалов в динамическом режиме нагрева. В данной статье анализируются методики, имеющие в своей основе зависимость (1), наибольшее распространённые на практике.

В качестве примера такой методики можно привести *магнитный метод* (измерение коэрцитивной силы или тока размагничивания) [2]. Магнитный метод активно применяется при исследовании пожаров и позволяет устанавливать достаточно информативные зоны распределения термического воздействия на строительные конструкции, выполненные из холоднодеформированных сталей.

Для целей дальнейшего анализа представим данные, приведённые на рис. 1 в виде поверхности. Тогда линия, образованная пересечением данной плоскости с плоскостью вида $I_p = const$, будет описываться зависимостью $T = f(\tau)$. Эта линия показывает, какая температура воздействовала на объект (конструкцию) при установленном времени её воздействия. Для данной линии введём термин "*Линия определённости методики инструментального исследования*" – это линия, характеризующая методику инструментального исследования, построенная при постоянном значении измеряемого по методике параметра и показывающая, какая температура воздействовала на объект при известном времени её воздействия.

Иллюстрация данного термина приведена на рис. 2.

Расчёты показывают, что линия определённости для магнитного метода исследования описывается уравнением:

$$T_{\Pi} = D \cdot \left(\ln \left(\frac{I_p - C}{A} \right) - B \right), \quad (2)$$

где T_{Π} – искомая температура (по результатам инструментальных исследований), °C;

I_p – показания прибора, полученные по результатам инструментальных исследований;

A, B, C, D – коэффициенты, определяемые следующим образом:

$$A = 0,4179 \cdot t_1^2 - 5,0179 \cdot t_1 + 4,2143; \quad (3)$$

$$B = -2,7; \quad (4)$$

$$C = 24,9; \quad (5)$$

$$D = -0,0955 \cdot t_1^2 + 0,9488 \cdot t_1 + 0,4430; \quad (6)$$

$$t_1 = \frac{1}{15} \tau + 1, \quad (7)$$

где τ – текущее время пожара, мин.

Погрешность расчётных значений, определённых по зависимостям (2-7), не превышает 4 % относительно значений, приведённых в литературе [2]. Назовём уравнение (2) уравнением определённости методики инструментального исследования функциональной зависимости $T = f(\tau)$.

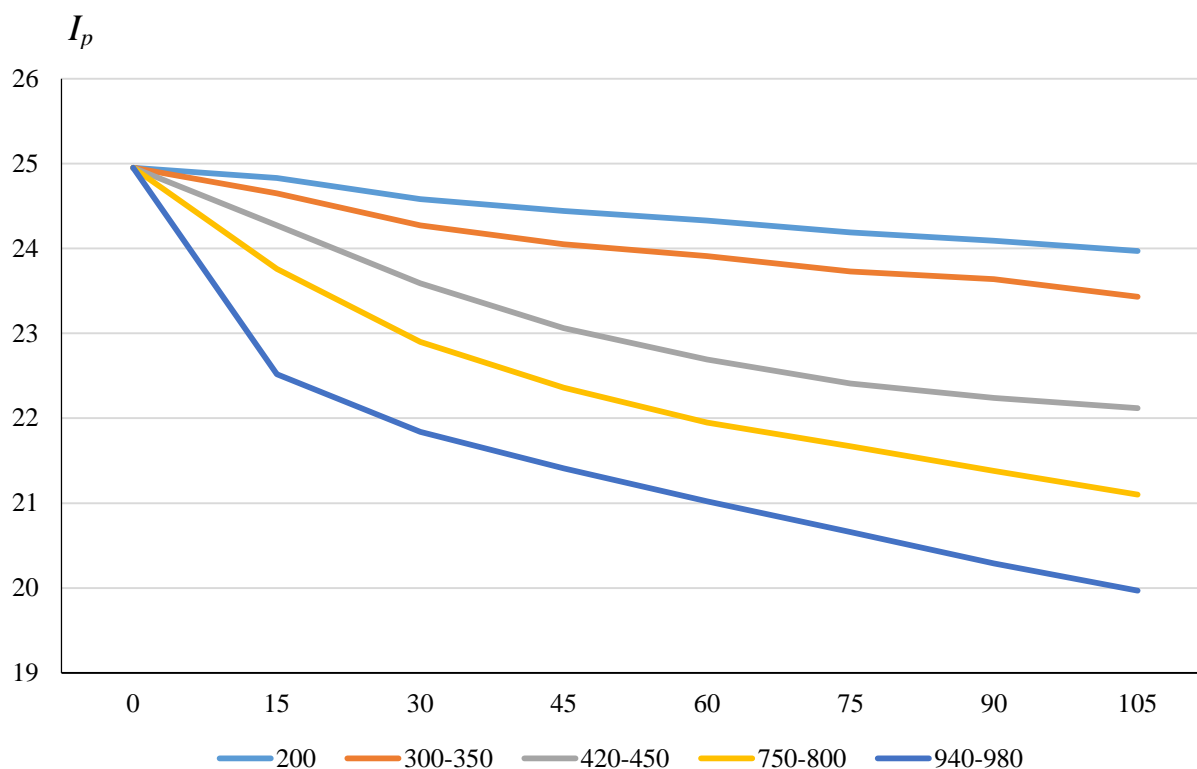


Рис. 1. График зависимости тока размагничивания стальных холоднодеформированных изделий от режима теплового воздействия (приводится по [2])

Линии определённости методики инструментального исследования $T = f(\tau)$ при $I_p = \text{const}$

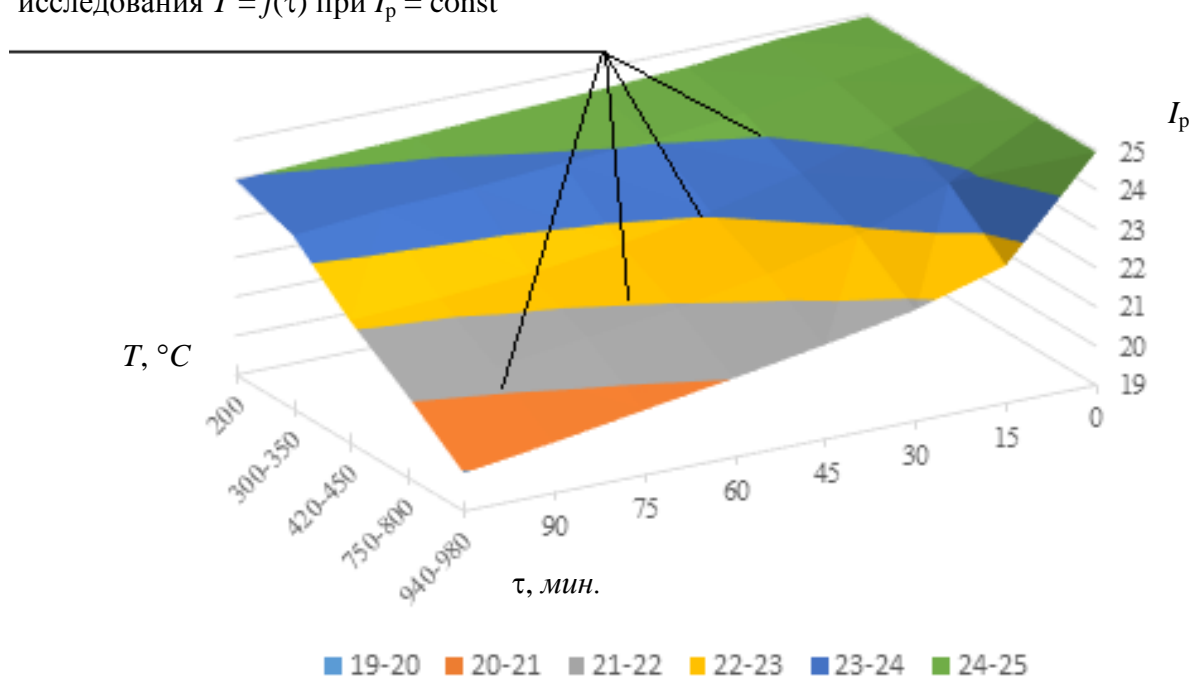


Рис. 2. Графическая иллюстрация термина "Линия определённости методики инструментального исследования"

Эта зависимость $T = f(\tau)$ описывает *температурный режим пожара* в помещении. Уравнение температурного режима пожара установлено национальным стандартом ГОСТ Р 12.3.047-2013 [3]. Температурный режим пожара в помещении зависит от времени развития пожара τ , параметров помещения Q_{Π} (площадь, высота, характеристики проёмов и т.д.), параметров, характеризующих горючую нагрузку Q_H (теплота сгорания, масса нагрузки и т.д.). Обобщённо данную зависимость представим в виде функции

$$T_{\text{тр}} = f(\tau, Q_{\Pi}, Q_H), \quad (8)$$

где $T_{\text{тр}}$ – искомая температура (среднеобъёмная, перекрытия или стен), исходя из уравнения температурного режима.

Проведённые преобразования дают возможность построить линию определённости методики инструментального исследования *на одной координатной плоскости* с графиком температурного режима пожара. Взаимное расположение этих линий даёт информацию о величинах, входящих в уравнения (2, 8), в том числе о массе горючей нагрузки, находившейся в помещении до пожара. Тогда *задача нахождения массы* горючей нагрузки по результатам инструментальных исследований *сводится к решению системы уравнений* (9.1-9.3). Наличие трёх неизвестных в уравнениях (температура, время её воздействия на конструкцию, количество горючей нагрузки в помещении) потребовало введения третьего уравнения в систему (9.3). Графиком данного уравнения является линия расположения решений системы:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{\Pi} = D \cdot \left(\ln \left(\frac{I_p - C}{A} \right) - B \right); \\ T_{\text{тр}} = f(\tau, Q_{\Pi}, Q_H); \\ T_p = \text{const}, \end{array} \right. \quad (9.1)$$

$$\left. \begin{array}{l} T_{\text{тр}} = f(\tau, Q_{\Pi}, Q_H); \\ T_p = \text{const}, \end{array} \right\} \quad (9.2)$$

$$\left. \begin{array}{l} T_p = \text{const}, \end{array} \right\} \quad (9.3)$$

где T_p – температура "решения" системы.

Требования к решению данной системы уравнений формулируются следующим образом: решением системы уравнений является такая температура, при которой время её воздействия на строительную конструкцию является одновременно корнем уравнения определённости методики инструментального исследования при той же температуре. Аналитическое решение системы затруднено, при этом графическое решение для конкретного случая может быть представлено следующим образом (рис. 3).

Из рис. 3 следует, что решением системы уравнений, является температура $T = 588 \text{ }^{\circ}\text{C}$, при которой время её воздействия на строительную конструкцию $\Delta\tau = 24,1 \text{ мин.}$ является одновременно корнем уравнения определённости методики инструментального исследования $\tau_1 = 24,1 \text{ мин.}$ при той же температуре $T = 588 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким образом, *процедура графического решения* состоит в подборе количества массы горючей нагрузки и построении соответствующего её графика температурного режима, а также подборе температуры и построении линии расположения решений до тех значений, которые будут удовлетворять требованиям к решению системы уравнений (9.1-9.3).

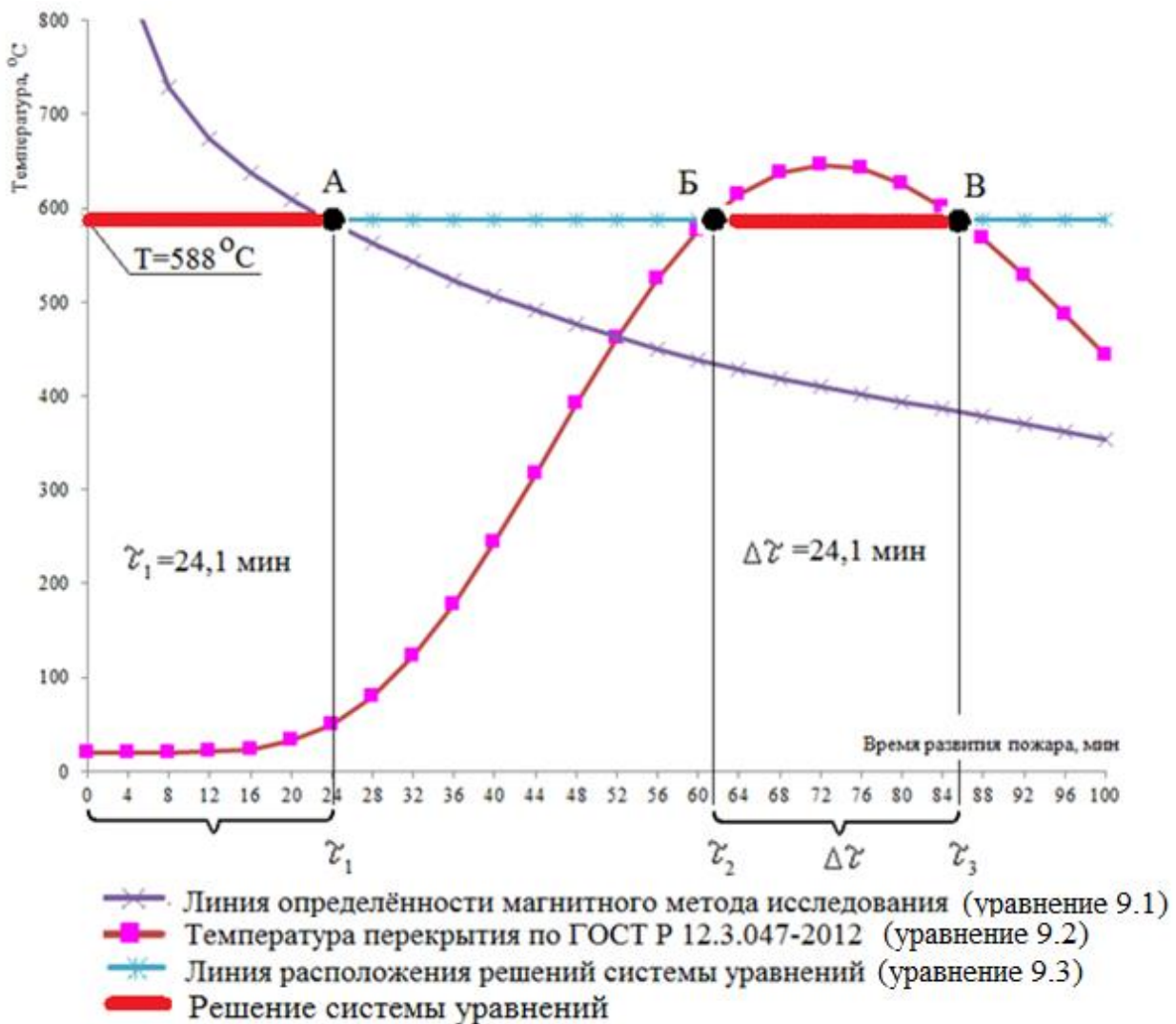


Рис. 3. Пример графического решения системы уравнений (9.1-9.3)

Современные компьютерные графические приложения позволяют реализовать графическое решение системы уравнений с достаточной для экспертных задач точностью, причём точность решения можно регулировать. Авторами статьи процедура такого решения была реализована в программе AutoCAD с использованием языка программирования AutoLISP.

Решения, получаемые с использованием разработанной программы в рамках предлагаемого подхода, можно проиллюстрировать следующим примером. В помещении, геометрические характеристики которого представлены на рис. 4, до пожара была размещена горючая нагрузка, определяемая как "Промтовары; текстильные изделия" по [4].

Допустим, что после пожара в данном помещении значение тока размагничивания для покрытия, выполненного из стальных профилированных листов, измеренное магнитным методом, составляет 23 мА. Требуется определить количество горючей нагрузки, находившейся в помещении до пожара.

Параметры, соответствующие *решению системы уравнений* для ситуации, приведённой на рис. 4, полученные по результатам решения системы уравнений (9.1-9.3) с использованием *разработанного программного обеспечения*, приведены в табл. 1.

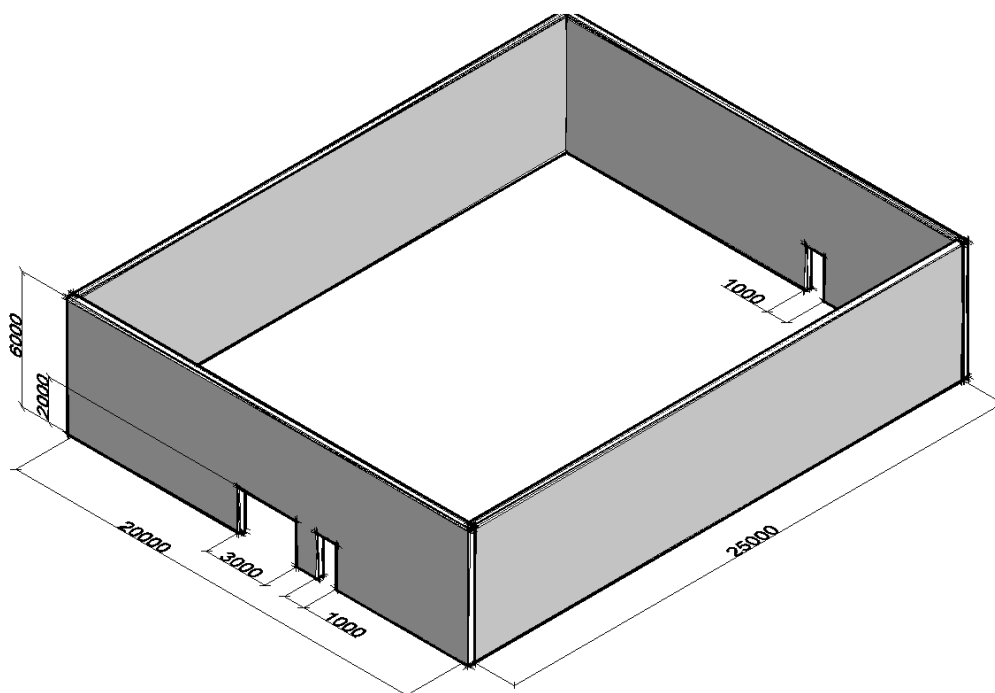


Рис. 4. Помещение, относительно которого приведён пример решения задачи нахождения массы горючей нагрузки, располагавшейся в помещении до пожара

Таблица 1

Решения системы уравнений (9.1-9.3) для помещения, приведённого на рис. 4

Масса удельной горючей нагрузки, кг/м ²	Температура перекрытия T, °C	Время воздействия температуры τ, мин.	T/τ
≤ 15000	нет решения	нет решения	-
15501	588,457	24,142	24,375
16001	609,105	20,851	29,213
16501	622,683	18,888	32,967
17001	467,366	51,236	9,122
17501	642,069	16,381	39,197
18001	441,718	59,613	7,410
18501	657,481	14,630	44,941
19001	нет решения	нет решения	-
19501	670,964	13,269	50,568
20001	404,806	75,016	5,396
≥ 20500	нет решения	нет решения	-

Примечание: масса удельной горючей нагрузки представлена с цифрой "1" в первом разряде. Данное представление вызвано особенностями функции, реализующей решение системы уравнений, и при получаемых 6-значных значениях не влияет на точность решения. Далее по тексту масса удельной горючей нагрузки приводится без единицы в первом разряде

Исходя из полученных результатов в рассматриваемом случае, *масса* удельной горючей нагрузки в помещении до пожара могла находиться в *интервале значений* [15500-18500 кг/м²] и [19500-20000 кг/м²]. Причем, расчётные значения основаны на данных, получаемых по результатам инструментальных исследований, что повышает объективность выводов, делаемых в процессе экспертного исследования.

График функции T/τ , приведённой в табл. 1, представлен на рис. 5.

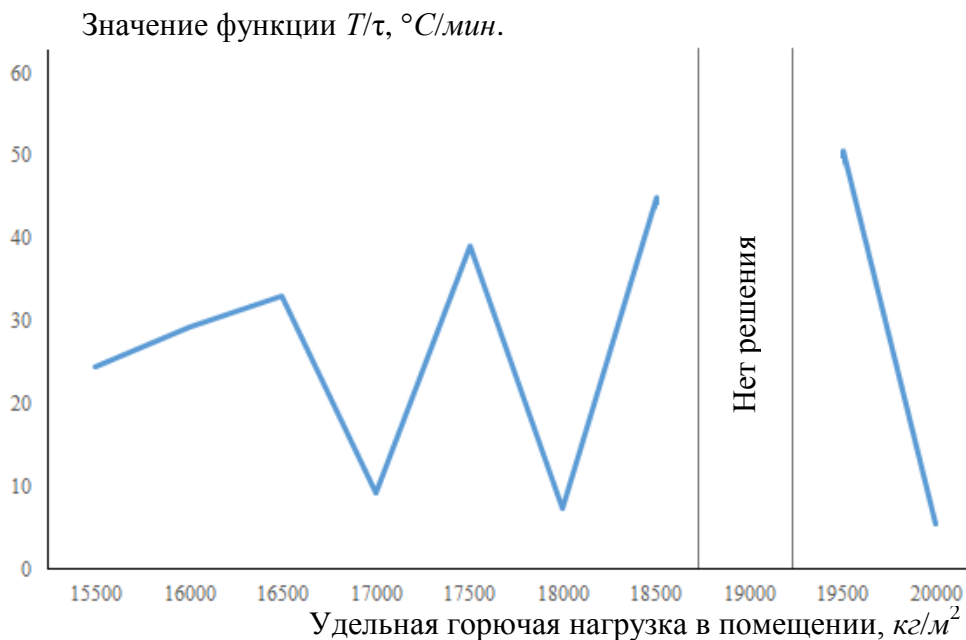


Рис. 5. График функции T/τ , получаемый по результатам решения системы уравнений (9.1-9.3)

Наличие графика функции (рис. 5) говорит о том, что *существует дифференциальное уравнение, эквивалентное системе уравнений* (9.1-9.3), решение которого удовлетворяет требованиям к решению данной системы.

Применение описанного подхода к нахождению массы горючей нагрузки в помещении до пожара в настоящий момент *осложнено* следующим. Дело в том, что решение осуществляется относительно одного значения, измеренного прибором по методике инструментального исследования. Однако на практике значения, измеренные в разных точках помещения, удалённых друг от друга, могут различаться.

Такое осложнение *может быть преодолено* разными способами. Во-первых, можно находить массу горючей нагрузки относительно отдельных участков помещения, на которых измерено одно значение, с последующим построением участков масс размещения горючей нагрузки по площади помещения. Во-вторых, возможно решение системы (9.1-9.3) относительно одного обобщённого показателя, характеризующего распределение значений, получаемых инструментальным методом исследования, по площади помещения. В таком случае необходима методика расчёта такого показателя, что диктует необходимость дальнейших исследований.

В целом, в результате проведённого исследования разработан *подход к решению экспертной задачи* по определению массы горючей нагрузки, находившейся в помещении до пожара, что является актуальным на сегодняшний день. Данный подход заключается в нахождении массы горючей нагрузки, *при которой существует решение системы*, состоящей из уравнения определённости методики инструментального исследования и уравнения температурного режима строительной конструкции при пожаре. В качестве уравнения температурного режима пожара могут быть использованы как зависимости, установленные ГОСТ Р 12.3.047, так и иные зависимости, получаемые по результатам исследований.

Решением такой системы уравнений является температура, при которой время её воздействия на строительную конструкцию является *одновременно корнем уравнения* определённости методики инструментального исследования при той же температуре.

Такой подход потребовал введения термина "*Линия определённости методики инструментального исследования*", под которым понимается линия, характеризующая методику инструментального исследования, построенная при постоянном значении измеряемого по методике параметра и показывающая, какая температура воздействовала на объект при известном времени её воздействия. Линия представлена в виде функциональной зависимости

$$T = f(\tau),$$

где T – температура, воздействующая на объект исследования;

τ – время воздействия данной температуры.

Литература

1. **Вечтомов Д.А.** Информационно-аналитическая система поддержки принятия управленческих решений в процессе мониторинга требований пожарной безопасности // Дисс. ... канд. техн. наук. М.: Академия ГПС МЧС России, 2014.
2. **Применение** инструментальных методов и технических средств в экспертизе пожаров. Сборник методических рекомендаций. СПб.: Исследовательский центр экспертизы пожаров ФПС ВНИИПО МЧС России. 2008.
3. **ГОСТ Р 12.3.047-2012.** Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. № 1971-ст).
4. **Кошмаров Ю.А.** Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пос. М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.
5. **Колдаев В.Д.** Численные методы и программирование: учебное пособие. М.: ИД "ФОРУМ": Инфра М, 2008. 336 с.
6. **Старков С.Н.** Справочник по математическим формулам и графикам функций. СПб.: БХВ-Петербург, 2015. 352 с.