

**КОМИТЕТ ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
МВД РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

КОКШЕТАУСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

№ 4 (24), 2016

**ВЕСТНИК
КОКШЕТАУСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
КОМИТЕТА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
МВД РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

КОКШЕТАУ 2016

УДК 614.8 (082)
ББК 68.69 (5Каз)

Вестник Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан № 4 (24) – К.: КТИ КЧС МВД РК, 2016. – 102 с.

Журнал зарегистрирован Министерством культуры и информации Республики Казахстан. Свидетельство о постановке на учёт СМИ № 11190-Ж от 14.10.2010 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ШАРИПХАНОВ С.Д. – главный редактор, доктор технических наук, начальник КТИ КЧС МВД Республики Казахстан;

РАИМБЕКОВ К.Ж. – заместитель главного редактора, кандидат физико-математических наук, заместитель начальника КТИ КЧС МВД Республики Казахстан по научной работе;

ДЖУМАГАЛИЕВ Р.М. – профессор, кандидат технических наук, президент АО «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и гражданской обороны» КЧС МВД РК;

АУБАКИРОВ С.Г. – кандидат технических наук, начальник Департамента по чрезвычайным ситуациям г. Алматы;

АЛЕШКОВ М.В. – доктор технических наук, профессор, заместитель начальника Академии ГПС МЧС России по научной работе;

КАМЛЮК А.Н. – кандидат физико-математических наук, доцент, заместитель начальника университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь – начальник научно-исследовательского отдела;

КАРИМОВА Г.О. – кандидат филологических наук, доцент, начальник факультета очного обучения КТИ КЧС МВД Республики Казахстан;

БЕЙСЕКОВ А.Н. – кандидат физико-математических наук, начальник кафедры общетехнических дисциплин, информационных систем и технологий КТИ КЧС МВД Республики Казахстан;

КАРМЕНОВ К.К. – кандидат технических наук, начальник кафедры пожарной профилактики КТИ КЧС МВД Республики Казахстан;

ШУМЕКОВ С.Ш. – кандидат педагогических наук, начальник кафедры пожарно-спасательной и физической подготовки КТИ КЧС МВД Республики Казахстан.

АЛЬМЕНБАЕВ М.М. – кандидат технических наук, профессор кафедры пожарной профилактики КТИ КЧС МВД Республики Казахстан.

«Вестник Кокшетауского технического института КЧС МВД РК» – периодическое издание, посвящённое вопросам обеспечения пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Тематика журнала – теоретические и практические аспекты предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций; обеспечение пожарной и промышленной безопасности; проблемы обучения. Данный номер журнала посвящён 25-летию Независимости Республики Казахстан.

Научный журнал предназначен для курсантов, магистрантов, адъюнктов, профессорско-преподавательского состава образовательных учреждений, научных и практических сотрудников, занимающихся решением вопросов защиты в чрезвычайных ситуациях, пожаровзрывобезопасности, а так же разработкой, созданием и внедрением комплексных систем безопасности.

Издано в авторской редакции
ISSN 2220-3311

© Кокшетауский технический институт
КЧС МВД Республики Казахстан, 2016

УДК 614.841.12:536.3 (035.5)

М.М. Семерак - д.т.н., профессор

Д.В. Харишин - адъюнкт

Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ПРИ ПОЖАРЕ С ГОРЕНИЕМ УГЛЕВОДОРОДОВ

В работе предложена математическая модель определения и исследования температурного поля в строительных конструкциях при пожаре. Получены аналитические зависимости нестационарного температурного поля по толщине массивных конструкций, обусловленного углеводородным температурным режимом пожара, временем воздействия и теплофизическими характеристиками материалов конструкций. Результаты исследований представлены графически.

Ключевые слова: пожар, температурный режим пожара, температурное поле, огнестойкость.

Актуальность темы. Во время экспериментального исследования огнестойкости строительных конструкций температура в печи должна изменяться по стандартизированному температурному режиму пожара. Например, в условиях стандартного температурного режима пожара, температура печи достигает 720 °С за 15 минут, а во время горения углеводородных веществ за 15 минут температура горения будет достигать 1050 °С. Вследствие этого, строительные конструкции при горении углеводородных веществ будут нагреваться более интенсивно [1, 2].

Цель работы. Для прогнозирования предела огнестойкости зданий и сооружений (элементов конструкций) в условиях пожара, необходимо исследовать величину температурного поля и время нагрева конструкций до наступления одного из предельных состояний по огнестойкости.

Постановка задачи. Исследуем температурное поле массивных конструкций зданий в условиях горения углеводородных веществ, температура которых изменяется во времени согласно «углеводородному температурному режиму пожара» [1, 3].

$$t(\tau) = 1080 \cdot (1 - 0,325 \cdot \exp(-0,167 \cdot \tau) - 0,675 \cdot \exp(-2,5 \cdot \tau)) + t_0, \quad (1)$$

где $t(\tau)$ - изменение температуры среды во времени, °С;

τ - продолжительность пожара, с;

t_0 - начальная температура, °С.

Для аналитического исследования температурного поля конструкции выберем декартовую систему координат Ox . Начало координат разместим на поверхность конструкции, а положительные значения оси Ox направим по толщине конструкции.

Теплообмен между средой и конструкцией осуществляется по закону Ньютона-Рихмана.

Для определения закона изменения температуры по толщине конструкции и времени рассмотрим дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности [2]

$$\frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau}, \quad (2)$$

где $t(x, \tau)$ - температурное поле в конструкции; τ - длительность пожара, с; t_0 - начальная температура, $^{\circ}\text{C}$; $a = \frac{\lambda}{c_v \cdot \rho}$ - коэффициент температуропроводности, $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$; c_v - теплоемкость при постоянном объеме, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; ρ - плотность, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; λ - коэффициент теплопроводности, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

Выражение (2) является дифференциальным уравнением нестационарной теплопроводности второго порядка. Для нахождения решения уравнения (2) необходимо задать одно начальное и два граничных условия

$$t(x, 0) = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} + \frac{\alpha}{\lambda} (t(\tau) - t(0, \tau)) = 0, \quad t(\infty, \tau) = 0, \quad (4)$$

где α - коэффициент теплообмена, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$.

Решение дифференциального уравнения теплопроводности (2) с учетом краевых условий (3-4) и выражениям (1) записано в виде [2]

$$t(x, \tau) = 1080 \cdot \int_0^{\tau} \left[\begin{aligned} & \left[1 - 0,325 \cdot \exp\left(-\frac{0,167}{60} \cdot (\tau - 60)\right) - 0,675 \cdot \exp\left(\frac{-2,5}{60} \cdot (\tau - 60)\right) \right] \cdot \\ & \left[\frac{\alpha}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{a}{\pi \cdot v}} \exp\left(-\frac{x^2}{4 \cdot a \cdot g}\right) - a \cdot \left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^2 \cdot \right. \\ & \cdot \exp\left(\frac{\alpha}{\lambda} \cdot x + a \cdot \left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^2 \cdot v\right) \cdot \\ & \left. \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2 \cdot \sqrt{a \cdot v}} + \frac{\alpha}{\lambda} \cdot \sqrt{a \cdot v}\right) \right] \cdot dv, \quad (5) \end{aligned} \right.$$

где $\operatorname{erfc}(r) = 1 - \operatorname{erf}(r)$, $\operatorname{erf}(r) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-y^2} dy$ - функция ошибок Гаусса.

Используя систему уравнений (5) проведены исследования изменения температурного поля на поверхности ($X=0$) бетонной и кирпичной стенки в зависимости от координаты и продолжительности пожара. Температура внешней среды изменялась по углеводородному температурному режиму (кривая 5). Результаты представлены графически на рис. 1-2.

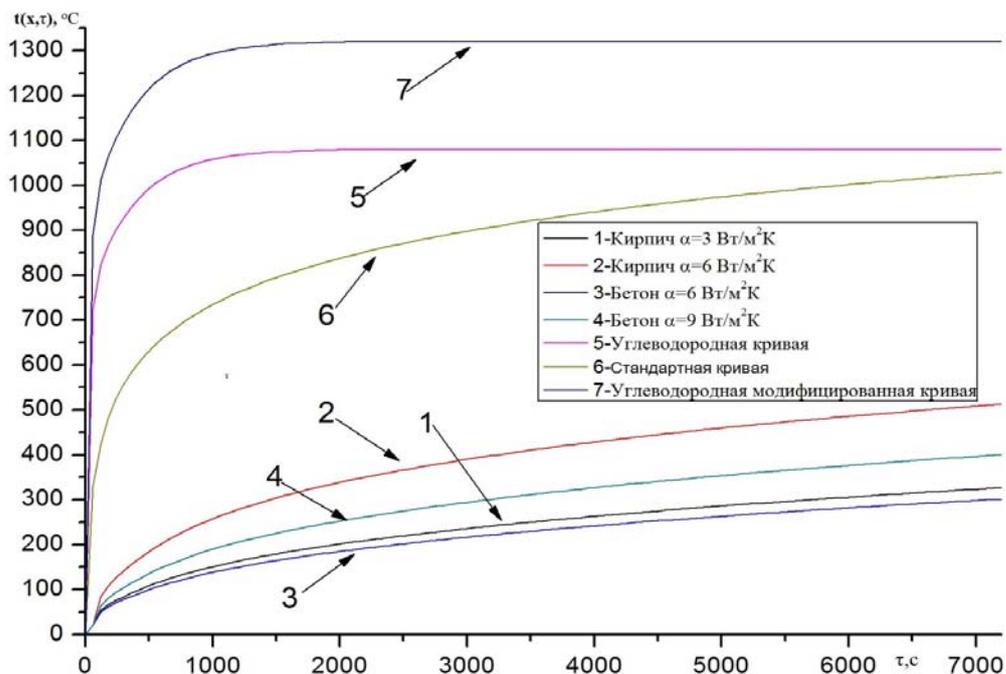


Рисунок 1 - Изменение температуры на поверхности кирпичной (1,2) и бетонной стенки (3, 4) в зависимости от продолжительности пожара и коэффициента теплообмена

Анализ рис. 1 показывает, что при разных интенсивностях теплообмена между поверхностью конструкции и внешней средой температура поверхности значительно ниже температуры среды, которая нагревает конструкцию. Наиболее интенсивно нагревается поверхность в начальный момент времени (до 1 ч). Интенсивность нагрева со временем уменьшается.

При одинаковых условиях теплообмена (равенства коэффициентов теплообмена) температура на поверхности бетонной стенки меньше от кирпичной, что связано с большим коэффициентом теплопроводности бетона, в результате чего в глубину конструкции передается больше количества тепла.

На рис. 2 показана зависимость изменения температурного поля по толщине кирпичной (1, 2) и бетонной стенки (3, 4) в конкретный момент времени от начала горения.

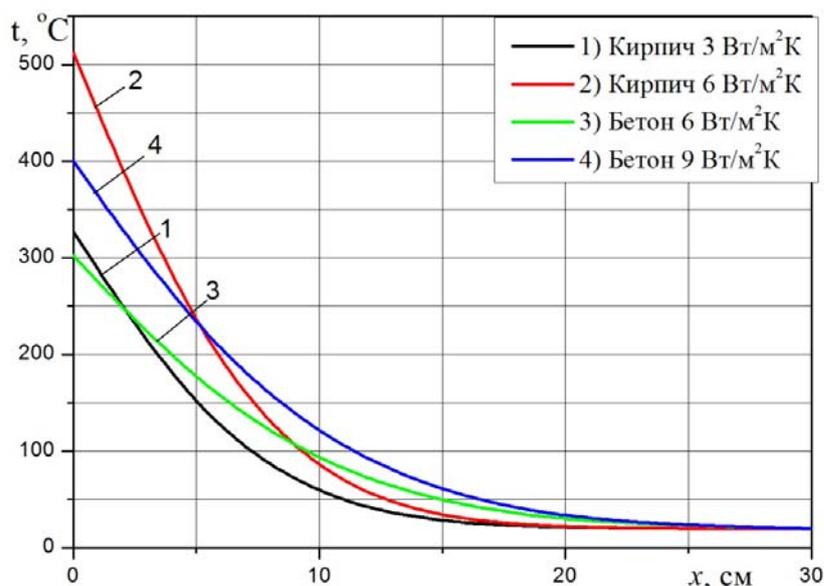


Рисунок 2 - Изменение температуры по толщине кирпичной и бетонной конструкции в зависимости от продолжительности температурного режима углеводородного пожара (2 ч.) и коэффициента теплообмена ($\alpha = 3 \text{ Вт/м}^2\text{К}$; $\alpha = 6 \text{ Вт/м}^2\text{К}$; $\alpha = 6 \text{ Вт/м}^2\text{К}$; $\alpha = 9 \text{ Вт/м}^2\text{К}$).

При одинаковых условиях теплообмена ($\alpha = 6 \text{ Вт/м}^2\text{К}$) температура на поверхности бетонной стенки меньше чем на кирпичной на $200 \text{ }^\circ\text{C}$, что вызвано большим коэффициентом температуропроводности бетона, в результате чего в глубину конструкции передается большее количество тепла.

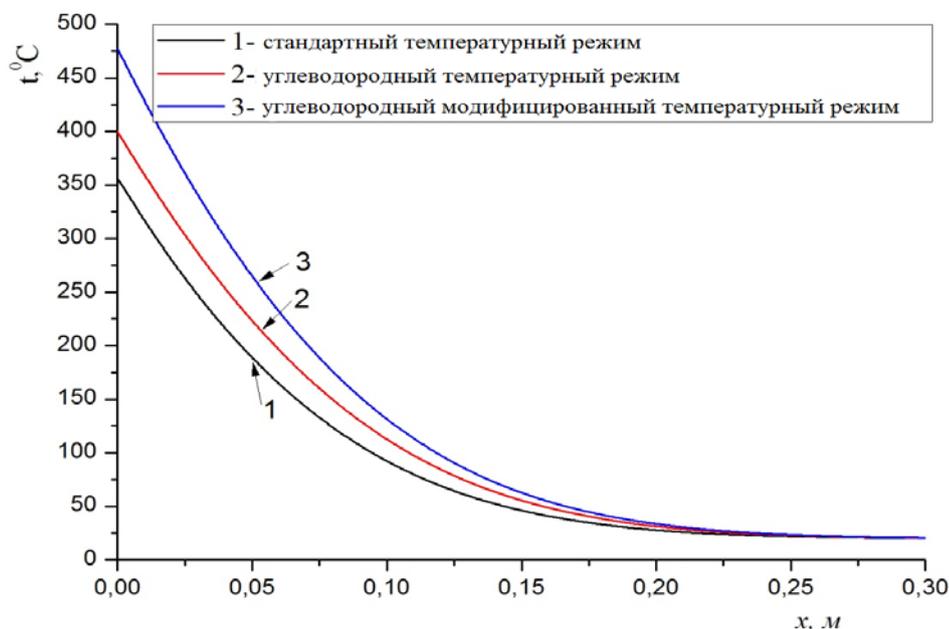


Рисунок 3 - Изменение температуры по толщине кирпичной и бетонной конструкции через 2 часа нагрева для разных температурных режимов ($\alpha = 9 \text{ Вт/м}^2\text{К}$)

На рис. 3 показано изменение температуры по толщине бетонной конструкции при ее нагреве для разных температурных режимов. Анализ рис. 3 показывает, что поверхность конструкции при нагреве по модифицированному углеводородному режиму нагревается на 121 °С больше чем при стандартном режиме, а при углеводородном режиме - на 44 °С за два часа.

Выводы:

1. Анализ полученных результатов показывает, что при различной интенсивности теплообмена между поверхностью конструкции и внешней средой температура поверхности ниже на 600-800 °С от температуры среды, которая нагревает конструкцию («углеводородный температурный режим пожара»).

2. Величина значений температурного поля на поверхности конструкции зависит от коэффициента теплопроводности и теплоемкости та интенсивности теплообмена материала, из которого изготовлена конструкция.

3. При определении огнестойкости конструкций в условиях горения углеводородных материалов необходимо исходить из закона температурного режима (1), а не из стандартного температурного режима при котором получим завышение результаты.

Список литературы

1. ДСТУ Б В 1.1-4-98* Защита от пожара. Строительные конструкции. Способы испытаний на огнестойкость. Общие требования. Киев: Госстрой Украины, 1999. – 21с.
2. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа 1967. – 600с.
3. Кириллов А.П. Железобетонные корпуса ядерных реакторов. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 248 с.

М.М. Семерак, Д.В. Харишин

КӨМІРСУТЕГІ ЖАНҒАНДАҒЫ ӨРТ КЕЗІНДЕГІ ҚҰРЫЛЫС
КОНСТРУКЦИЯЛАРЫНДАНЫҢ ТЕМПЕРАТУРА ӨРІСІН
МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛДЕУ

Жұмыста өрт кезінде құрылыс конструкцияларындағы температура өрісін анықтау мен зерттеудің математикалық моделі ұсынылған. Өртің көмірсутегі температура режимінің, әсер ету уақыты мен конструкция материалдарының жылу физикалық сипаттамаларымен шарттастырылған қалыңдығынан көлемді конструкция бойынша температура өрісінің стационарды емес аналитикалық тәуелділіктері алынды. Зерттеу нәтижелері графикалық түрде берілген.

Негізгі түсініктер: өрт, өрттің температуралық режимі, температура өрісі, өртке төзімділігі.

Semerak M.M., Kharyshyn D.V.

MATHEMATICAL MODELING OF TEMPERATURE FIELD IN BUILDING STRUCTURES DURING HYDROCARBON FIRE

The paper presents a mathematical model of determination and study of the temperature field in building structures during hydrocarbon fire. Analytical dependences of transient temperature field through thickness of massive constructions due to the time of exposure and their characteristics of construction material during hydrocarbon fire temperature mode have been done. The research results have been presented graphically.

Keywords: fire, fire temperature mode, temperature field, fire resistance.

МАЗМУНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

<i>Мусабаев Т.Т., Муканов Д.А.</i> Меры по предотвращению чрезвычайных ситуаций в рамках генеральной схемы организации территории Республики Казахстан.....	3
<i>Раимбеков К.Ж., Кусаинов А.Б.</i> О необходимости создания единой системы оперативного реагирования на чрезвычайные ситуации.....	10
<i>Карменов К.К.</i> Воздействие производственного шума и вибрации на работающих.....	25
<i>Айтеев А.С., Булегенов Е.П.</i> Выбор и обоснование модели определения степени техногенной опасности территории (при строительстве потенциально-опасных объектов).....	29

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

<i>Сивенков А.Б., Хасанова Г.Ш.</i> Исследование снижения пожарной опасности древесины длительного срока эксплуатации за счет применения эффективных огнезащитных средств.....	33
<i>Лобойченко В.М., Морозов А.И., Диденко В.В.</i> Анализ экологического состояния лесов как составляющая обеспечения их пожарной безопасности.....	37
<i>Семерак М.М., Харишин Д.В.</i> Математическое моделирование температурного поля в строительных конструкциях при пожаре с горением углеводородов.....	46
<i>Mishchenko I.V., Kondratenko A.N.</i> Relationship between real manufacturing precision of fire nozzle and its water jet trajectory geometric characteristics...	52
<i>Макишев Ж.К., Сивенков А.Б.</i> Пожарная опасность ограждающих деревянных конструкций различного срока эксплуатации	62
<i>Берденова Д.К.</i> Полевое моделирование пожара в помещении.....	65
<i>Кусаинов А.Н.</i> Проблемы обеспечения пожарной безопасности новостроящихся зданий повышенной этажности.....	69