

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИВАНОВСКИЙ ИНСТИТУТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ
СЛУЖБЫ МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ
ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ»**

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

**Материалы VI Международной
научно-практической конференции,
посвященной 45-летию Ивановского института ГПС МЧС России**

Иваново, 28-30 ноября 2011 г.

Часть I

Под общей редакцией И.А. Малого

ИВАНОВО
2011

ББК 68.69

П 46

Пожарная и аварийная безопасность : материалы VI
П 46 Международной научно-практической конференции, посвященной
45-летию Ивановского института ГПС МЧС России, Иваново, 28-
30 ноября 2011 г. : в 2 ч. / под общ. ред. И.А. Малого. – Иваново :
ИВИ ГПС МЧС России, 2011. – Ч. 1. – 392 с.

ISBN 978-5-89729-158-0

ООО «Центр социальной поддержки женщины и семьи» (Издательство
«Юнона»)

В сборнике представлены материалы выступлений и статьи участников конференции. В материалах сборника отражены результаты фундаментальных и прикладных исследований в области обеспечения пожарной и аварийной безопасности объектов, гуманитарных аспектов профессиональной подготовки сотрудников МЧС России.

ББК 68.69

Руководство Ивановского института ГПС МЧС России выражает благодарность за оказанную финансовую помощь в проведении конференции и издании сборника материалов:

Ивановскому областному отделению Общероссийской общественной организации «Всероссийское добровольное пожарное общество»

ООО Компания «Сервис ТВ-Инфо»

Редакционная коллегия

канд. техн. наук И.А. Малый (председатель ред. коллегии);
канд. техн. наук Д.Г. Снегирев;
канд. хим. наук О.В. Потемкина;
канд. техн. наук М.Ю. Овсянников;
канд. техн. наук В.Б. Бубнов;
канд. техн. наук В.В. Волков;
канд. ист. наук Н.Ю. Новичкова;
канд. филол. наук Р.Н. Канафиев;
канд. филос. наук А.А. Обрезков;
канд. хим. наук А.В. Петров;
канд. техн. наук А.Х. Салихова;
канд. биол. наук О.Г. Зейнетдинова;
канд. филол. наук Ю.В. Шмелева.

Ульев Д.А.	
Механика газа в системах дымоудаления с установленными вставками.....	362
Федосов С.В., Акулова М.В., Потемкина О.В., Грунцев И.В., Гунина Н.М.	
Исследование влияния состава бетона на его тепловые свойства.....	364
Шаршанов А.Я.	
Математическая модель действия вспучивающихся огнезащитных покрытий.....	367
Швырков С.А., Юрьев Я.И., Литаш Н.А.	
Применение сталефибробетона в конструкциях ограждений резервуаров на слабых грунтах.....	371
Шиганов Е.Н., Малькова Е.А., Лебедева Н.Ш., Потемкина О.В.	
Кинетические подходы к изучению процессов термоокислительной деструкции торфа.....	373
Щепочкина Ю.А.	
Исследование поведения силикатного кирпича при высокотемпературном воздействии.....	377

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ И ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТЬ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Таким образом, с помощью теории цепей Маркова целесообразно исследовать процесс теплопроводности в тяжелых бетонах, в зависимости от характера заполнения бетонной смеси.

Библиографический список

1. Акулова М.В. Разработка научных основ высокотемпературных процессов многофункциональной отделки изделий на основе бетона: Дис. ... д-ра техн. наук. - Иваново, 2004.
2. Баженов Ю.М. Технология бетона: Учебн. пособие для технол. спец. строит. вузов. 2-е изд., перераб. М.: Высш. шк., 1987, 415 с.
3. Федосов С.В., Акулова М.В., Гунина Н.М., Мизонов В.Е. Использование цепей Маркова для определения теплопроводности тяжёлого бетона// Информационная среда вуза: Мат-лы XVII Междунар. науч.-техн. конф. – Иваново: ИГАСУ, 2010. С. 474-477.

УДК 54-4

А.Я. ШАРШАНОВ

Национальный университет гражданской защиты Украины

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕЙСТВИЯ ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

A. SHARSHANOV

MATHEMATIC MODEL OF BULGING FIRE PROTECTION COVERS

Построена математическая модель нагревания вспучивающегося огнезащитного покрытия, в рамках единого подхода описывающая процессы теплопереноса, термического разложения, испарения, вспучивания и уноса массы. Основой модели является взгляд на покрытие, как на смесь веществ, которая меняет свой состав, а при вспучивании ведет себя подобно жидкости.

В связи с тем, что пожар означает существование высокотемпературных источников тепла, защита тел от нагревания остается актуальной задачей обеспечения пожарной безопасности. Одним из распространенных способов защиты является нанесение теплоизоляционных покрытий. Целью данной работы является построение математической модели для расчета температуры поверхности тела, защищенной слоем теплоизоляционного материала, способного вспучиваться.

В связи с большим практическим значением рассматриваемой проблеме посвящено значительное количество как экспериментальных, так и теоретических работ [1, 2]. Как правило, эксперименты охватывают обе стадии процесса теплозащиты - и вспучивание покрытия и дальнейший теплоперенос в образующемся при вспучивании пористом материале. Теоретические части исследований посвящены обычно второй стадии, в которой пористый материал задается как изначально данный. Даже в этой ситуации в связи со сложностью задач количество аналитических результатов незначительно и охватывают они отдельные аспекты проблемы (см. например [3]). Все более широкие теоретические исследования проводятся при помощи численного решения соответствующих математических моделей [4, 5].

Данная работа является попыткой описать в рамках единого подхода обе стадии функционирования теплозащитного покрытия. При этом считается, что в процессе вспучивания материал покрытия ведет себя подобно жидкости.

В работе предлагается модель поведения вспучивающегося при нагревании покрытия, соответствующая следующей последовательности физических процессов. Первоначально защитное покрытие представляет собой сплошное вещество с незначительным содержанием (либо вообще без) вкраплений газовой фазы. Нагревание происходит от одной из поверхностей покрытия. По мере повышения температуры покрытия содержание газовой фазы (вследствие химического распада либо просто фазового перехода) и давление в ней нарастают. Рост температуры приводит к текучести материала, вызывающей в конечном итоге значительный рост объема газовой компоненты. Начало этого процесса (до стадии существенного объединения газовых областей) является вспучиванием без делокализации газа. В ходе дальнейшего нагревания удельный объем газовых областей может достичь критического значения, при котором происходит разрушение стенок между вкраплениями газа (вспучивание приводит к делокализации). В такой области движение газа становится неограниченным. Газ уносится из системы, снимая напряжение в данной области. (Соответствующее падение давления может приводить к вскипанию жидкой фазы с дальнейшим уносом паров.) Глубина области делокализации движения газа вслед за толщиной области прогрева покрытия нарастает в направлении от горячей поверхности.

Описанные процессы определяют ряд преимуществ теплозащиты вспучивающимися покрытиями по сравнению с обычными инертными. Вспучивание 1) увеличивает толщину защитного слоя; 2) уменьшает коэффициент теплопроводности; 3) забирает энергию на образование газа (при фазовом переходе либо в случае

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ И ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТЬ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

эндотермической химической реакции); 4) в случае делокализации газов, они уносят часть энергии в направлении от защищаемой поверхности. Все отмеченные обстоятельства отражены в предложенной математической модели.

Основой модели является взгляд на вещество покрытия, как на смесь более простых веществ (например: материал покрытия - трехкомпонентная смесь из исходного вещества и двух продуктов его термического распада, а конденсированная и газообразная фазы химически одинакового вещества являются разными компонентами смеси). В соответствии с таким взглядом состав вещества в точке с радиус-вектором \mathbf{r} , m , в момент времени τ , s , будет задаваться набором парциальных плотностей $\rho_i(\mathbf{r}, \tau) \equiv dm_i/dV$, где dm_i – масса i -го компонента, кг. в малом объеме dV , m^3 , покрытия; удельная объемная изобарная теплоемкость вещества покрытия представима в виде

$$c'_p = \sum_i \rho_i \cdot c_{p,i}, \text{ Дж}\cdot\text{м}^{-3}\cdot\text{К}^{-1}, \quad (1)$$

где $c_{p,i}(T)$ – удельная массовая изобарная теплоемкость i -го компонента, $\text{Дж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$, при абсолютной температуре $T(\mathbf{r}, \tau)$, К. Сумма в выражении (1) берется по всем n возможным компонентам.

Парциальные плотности $\rho_i(\mathbf{r}, \tau)$ удовлетворяют уравнениям материального баланса

$$\frac{\partial \rho_i(\mathbf{r}, \tau)}{\partial \tau} + \text{div}[\mathbf{w}_i \cdot \rho_i(\mathbf{r}, \tau)] = R_i, \quad (2)$$

где $R_i(T, \mathbf{p})$ – объемная плотность скорости изменения массы i -го компонента, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}\cdot\text{с}^{-1}$, вследствие его химических либо фазовых превращений; векторным символом \mathbf{p} отображено то обстоятельство, что величина R_i может зависеть от нескольких из n парциальных плотностей ρ_j . Явный вид функций $R_i(T, \mathbf{p})$ считается известным.

Величина $\mathbf{w}_i(\mathbf{r}, \tau)$ является средней по сечению покрытия среднерасходной скоростью движения i -го компонента относительно защищаемой поверхности, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$. Все компоненты, не являющиеся газами, а также газовые компоненты в области локализации газа (область с $x < x_{кр}$ на рисунке) имеют одинаковую скорость перемещения, а именно скорость остова $\mathbf{w}_{oc}(\mathbf{r}, \tau)$:

$$\mathbf{w}_i(\mathbf{r}, \tau) = \mathbf{w}_{oc}(\mathbf{r}, \tau).$$

При наличии области делокализации газа ($x > x_{кр}$ на рисунке) в пренебрежении взаимной диффузией все газовые компоненты движутся с одинаковой скоростью

$$\mathbf{w}_i(\mathbf{r}, \tau) = \mathbf{w}_{oc}(\mathbf{r}, \tau) + \mathbf{w}_r(\mathbf{r}, \tau),$$

где $\mathbf{w}_r(\mathbf{r}, \tau)$ – средняя по сечению покрытия среднерасходная скорость движения газа относительно остова, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Система n уравнений (2) дополняется соотношением энергетического баланса:

$$c'_p \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + \mathbf{w}_{oc} \cdot \text{grad } T \right) - \text{div}(\lambda \cdot \text{grad } T) = - \sum_i h_i \cdot R_i - c'_{p,r} \cdot \mathbf{w}_r \cdot \text{grad } T, \quad (3)$$

где $\lambda(T, \mathbf{p})$ – коэффициент теплопроводности покрытия, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$; $h_i(T)$ – энтальпия i -го компонента в расчете на единицу его массы, $\text{Дж}\cdot\text{кг}^{-1}$, взятая с учетом возможных химических и фазовых превращений; $c'_{p,r}$ – удельная объемная изобарная теплоемкость газовой компоненты покрытия, равная

$$c'_{p,r} = \sum_i^{(r)} \rho_i \cdot c_{p,i}, \text{ Дж}\cdot\text{м}^{-3}\cdot\text{К}^{-1},$$

где символ $\sum_i^{(r)}$ обозначает сумму по всем газовым компонентам.

Отметим, что в уравнении (3) последнее слагаемое отлично от нуля только в области делокализации газовых компонент ($x > x_{кр}$ на рисунке). Уравнение (3) не учитывает вкладов в энергобаланс движения остова покрытия, деформационных напряжений в нем, взаимной диффузии компонент газа, вязкого трения.

Для разрешения системы $(n+1)$ уравнений (2), (3), необходимо знать скорости остова $\mathbf{w}_{oc}(\mathbf{r}, \tau)$ и газа $\mathbf{w}_r(\mathbf{r}, \tau)$.

Для определения $\mathbf{w}_{oc}(\mathbf{r}, \tau)$ рассмотрим фиксированный малый элемент вещества покрытия, заполняющий объем dV . Учтя то, что скорость движения поверхностей данного элемента и есть $\mathbf{w}_{oc}(\mathbf{r}, \tau)$, рассмотрев поток вектора $\mathbf{w}_{oc}(\mathbf{r}, \tau)$ через эти поверхности, получим требуемое соотношение

$$\begin{aligned} \text{div}(\mathbf{w}_{in}) &= \frac{1}{dV} \left[\frac{d^2 V}{d\tau} \right] = \frac{1}{dV} \left[\frac{d}{d\tau} \left(\sum_i dm_i \cdot v_i \right) \right] = \\ &= \sum_i \left(\frac{d^2 m_i}{dV d\tau} \cdot v_i + \frac{dm_i}{dV} \cdot \frac{dv_i}{d\tau} \right) = \sum_i \left(R_i \cdot v_i + \rho_i \cdot \frac{dv_i}{d\tau} \right). \end{aligned}$$

Здесь $v_i(T, \mathbf{\sigma}) \equiv dV_i/dm_i$, – удельный объем i -го компонента, $\text{м}^3\cdot\text{кг}^{-1}$, где dV_i и dm_i – объем и масса i -го компонента в объеме dV покрытия; $\mathbf{\sigma}(\mathbf{r}, \tau)$ – тензор напряжений в данной области покрытия, Па.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ И ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТЬ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Учтя, что удельные объемы газовых компонент значительно больше, а плотности значительно меньше, чем такие же характеристики конденсированной фазы, можно упростить последнее уравнение:

$$\operatorname{div}(\mathbf{w}_{oc}) = \sum_i^{(r)} R_i \cdot v_i \quad (4)$$

Рассматривая газовые компоненты как идеальные газы, можно связать их удельный объем с другими параметрами состояния:

$$v_i = \frac{R_0 \cdot T}{\mu_i \cdot P}, \quad (5)$$

где $R_0 = 8314 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ – универсальная газовая постоянная; μ_i – молярная масса i -го компонента, $\text{кг} \cdot \text{моль}^{-1}$; $P(\mathbf{r}, \tau)$ – давление газа, Па, которое для локализованной газовой фазы определяется диагональными компонентами тензора напряжений покрытия σ в месте вкрапления газовой фазы.

Определение этого давления требует либо решения не рассматриваемой здесь задачи теории упругости [6], либо модельных предположений, проверяемых экспериментально. В данной работе предполагается, что подобно жидкости

$$P = P_0 + \Delta P(T, v), \quad (6)$$

где P_0 – давление во внешней среде, Па; $\Delta P(T, v)$ – избыточное давление в газовых вкраплениях, Па, являющееся убывающей функцией, как температуры T , К, так и размера вкраплений, и следовательно удельного объема вещества покрытия v , $\text{м}^3 \cdot \text{кг}^{-1}$, равного

$$v(\mathbf{r}, \tau) = \frac{\sum_i \rho_i(\mathbf{r}, \tau) \cdot v_i(T(\mathbf{r}, \tau), \sigma(\mathbf{r}, \tau))}{\sum_i \rho_i(\mathbf{r}, \tau)}. \quad (7)$$

Отметим, что уравнение (4) является главным приближением в области локализованной газовой фазы ($x < x_{кр}$ на рисунке). В соседней области делокализованной газовой фазы ($x > x_{кр}$) избыток образующихся газов уходит из системы, практически не участвуя во вспучивании покрытия. Здесь уравнение, определяющее скорость движения остова покрытия, в основном приближении имеет вид

$$\operatorname{div}(\mathbf{w}_{oc}) = 0. \quad (8)$$

Движение газа в области делокализации является течением вязкой жидкости в пористой среде. В связи с этим скорость этого движения задается соотношением [7]

$$w_r = -k_v \cdot \frac{C \cdot L^2}{\rho_r \cdot v_r} \cdot \operatorname{grad} P, \quad (9)$$

где k_v – безразмерный коэффициент равный доле объема каналов в объеме покрытия; C – определяемый структурой пор безразмерный коэффициент порядка единицы; L – средний размер поры, м; v_r – коэффициент кинематической вязкости газа, $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$; ρ_r – плотность газа в покрытии. Величины k_v и ρ_r определяются соотношениями

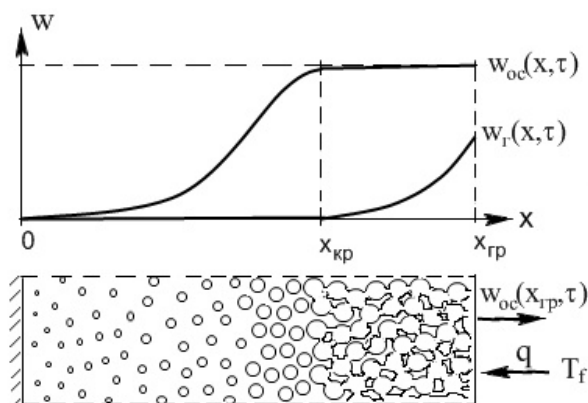
$$k_v = \sum_i^{(r)} \rho_i \cdot v_i \quad \text{и} \quad \rho_r = \sum_i^{(r)} \rho_i, \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}.$$

При записи последних соотношений предполагается, что в области делокализации в каналах оказывается большая часть газовой фазы. Кроме того, среди газовых компонент в порах (по крайней мере при рассмотрении ситуации повторного прогревания) следует предусмотреть воздух.

Для газов в области делокализации также выполняется уравнение состояния идеального газа

$$P = \left(\sum_i^{(r)} \frac{\rho_i}{\mu_i} \right) \cdot R_0 \cdot T. \quad (10)$$

Как отмечалось выше, поведение покрытия существенно зависит от возможности неограниченного движения газовой фазы. Мы предполагаем, что газы становятся делокализованными, когда удельный объем вещества покрытия v превышает некое критическое значение $v_{кр}(T, \sigma)$. В соответствии с этим представлением



**Рисунок. Пространственная схема структуры
вспучивающегося покрытия
и скорости остова и газовой компоненты покрытия**

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ И ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТЬ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

уравнение, определяющее положение границы области делокализации ($x_{кр}$ на рисунке), имеет вид:

$$v(\mathbf{r}_{кр}, \tau) = v_{кр} \left(T(\mathbf{r}_{кр}, \tau), \sigma(\mathbf{r}_{кр}, \tau) \right). \quad (11)$$

где v определяется соотношением (7). Иными словами, решение уравнения (11) ($\mathbf{r}_{\text{гб}}(\tau)$) является уравнением движения границы области делокализации. В соответствии с этим величина

$$\mathbf{w}_{кр}(\tau) = \frac{d\mathbf{r}_{кр}(\tau)}{d\tau}$$

является скоростью движения границы области делокализации, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Задача прогрева вспучивающегося покрытия сводится к решению системы $n+3$ уравнений относительно неизвестных: n плотностей компонент $\rho_i(\mathbf{r}, \tau)$, температуры $T(\mathbf{r}, \tau)$, давления $P(\mathbf{r}, \tau)$, скорости движения остова $\mathbf{w}_{\text{ос}}(\mathbf{r}, \tau)$. При наличии делокализованной газовой области добавляется неизвестная скорость движения газа $\mathbf{w}_r(\mathbf{r}, \tau)$ и уравнение (9).

Граничными условиями к рассматриваемой системе уравнений является непрерывность потоков массы компонент и энергии на границах покрытия [8]. Напомним, что граница с защищаемой поверхностью ($x=0$ на рисунке) является неподвижной и непроницаемой для вещества (то есть соответствующие потоки массы равны нулю), а движение внешней границы ($x_{гр}$ на рисунке) описывается уравнением

$$\frac{d\mathbf{r}_{гр}(\tau)}{d\tau} = \mathbf{w}_{\text{ос}}(\mathbf{r}_{гр}(\tau), \tau), \quad \mathbf{r}_{гр}(0) = \mathbf{r}_{гр.0}, \quad (12)$$

где $\mathbf{r}_{гр.0}$ - начальная координата внешней стороны покрытия. Внешняя граница покрытия проницаема только для газовых компонент в случае попадания ее в область делокализации. Условие непрерывности потока энергии на этой границе имеет вид:

$$-\lambda \Big|_{гр} \cdot \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{гр} + [c'_{p,r} \cdot w_r \cdot (T - T_0)]_{гр} = q, \quad (13)$$

где символом $\partial/\partial n$ обозначена составляющая градиента по нормали к поверхности; символ $\Big|_{гр}$ - указывает на взятие величин у граничной поверхности; T_0 - температура начала отсчета энтропии, К; q - падающий на поверхность покрытия удельный тепловой поток от внешних источников, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$, который в случае теплообмена с горячей средой задается соотношением

$$q = \alpha \cdot [T \Big|_{гр} - T_f],$$

где α - коэффициент теплоотдачи данной поверхности во внешнюю среду, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{К}^{-1}$; T_f - температура среды, К.

Если в процессе прогрева меняется характер локализации газа в покрытии, то решение также разбивается на две пространственных области. На соответствующей внутренней границе (в одномерном случае $x = x_{кр}$ на рисунке) непрерывными является температура, давление, скорость движения остова, потоки массы компонент, что в случае газовых компонент дает дополнительное соотношение

$$[\rho_i \cdot (\mathbf{w}_{\text{ос}} - \mathbf{w}_{кр})]_{x_{кр}-0} = [\rho_i \cdot (\mathbf{w}_r + \mathbf{w}_{\text{ос}} - \mathbf{w}_{кр})]_{x_{кр}+0}, \quad (14)$$

где символ $\Big|_{x_{кр}\pm 0}$ - указывает на взятие величин на соответствующей стороне граничной поверхности.

На внутренней границе ($x = x_{кр}$) непрерывность потока энергии, непрерывности потока массы и пренебрежение изменением энергии покрытия при переходе от локализованных к делокализованным газовым областям приводит к условию непрерывности теплового потока

$$-\left[\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial n} \right]_{x_{кр}-0} = -\left[\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial n} \right]_{x_{кр}+0}. \quad (15)$$

Сразу же отметим, что величина коэффициента теплопроводности λ по разные стороны от границы делокализации отличается. Действительно, в случае значительного объема газовой фазы, имеющей пренебрежимо малую теплопроводность, коэффициент теплопроводности вспученного материала можно оценить соотношением

$$\lambda(\mathbf{r}, \tau) = \lambda_0 \cdot C \cdot \frac{\sum_i^{(k)} \rho_i(\mathbf{r}, \tau) \cdot v_i(\mathbf{r}, \tau)}{\sum_i \rho_i(\mathbf{r}, \tau) \cdot v_i(\mathbf{r}, \tau)}. \quad (16)$$

где λ_0 - коэффициент теплопроводности сплошного материала покрытия, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$; C - меньший единицы

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ И ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТЬ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

безразмерный множитель, зависящий от структуры остова; символ $\sum_i^{(k)}$ обозначает сумму по всем не газовым (то есть пребывающем в конденсированном состоянии) компонентам. При переходе от локализованного к делокализованному состоянию в правой части соотношения (16) изменяется только множитель S . Он уменьшается, что отражает уменьшение коэффициента теплопроводности вследствие разрыва связей в конденсированной (и потому теплопроводящей) части покрытия.

Начальным условием рассматриваемой задачи естественно принять однородное распределение плотностей компонент $\rho(\mathbf{r}, \tau)$, температуры $T(\mathbf{r}, \tau)$ и давления в покрытии, а также нулевое значение скорости остова.

Таким образом, в представленной работе рассмотрена математическая модель прогревания вспучивающегося огнезащитного покрытия, базирующаяся на законах сохранения вещества и энергии. Основой подхода является взгляд на покрытие, как на смесь, состоящую из исходных веществ и продуктов их преобразований, среди которых есть газ. Именно рост содержания газовой компоненты при нагревании является причиной вспучивания. Упрощающим обстоятельством является предположение о том, что при вспучивании остов покрытия ведет себя подобно жидкости. Предложенный подход позволил в рамках единой модели описывать вызванные нагреванием от внешнего теплового потока процессы теплопереноса, термического разложения, испарения, вспучивания и уноса массы.

Библиографический список

1. Ненахов С.А., Пименова В.П. Физико-химия вспучивающихся огнезащитных покрытий на основе полифосфата аммония. *Пожаровзрывобезопасность*. 2010. Т.19., №8 - С.11-58.
2. Киреев А.А. Термогравиметрические исследования огнетушащих и огнезащитных гелей. *Проблемы пожарной безопасности*”, 2006, вып. 20, С. 86-89.
3. Шаршанов А.Я. Теоретические аспекты высыхания геля при пожаре. *Проблемы пожарной безопасности*”, 2008, вып. 23, С. 221-229.
4. Страхов В.Л., Гаращенко А.Н., Кузнецов Г.В., Рудзинский В.П. Тепломассообмен в тепло- и огнезащите с учетом процессов термического разложения, испарения-конденсации, уноса массы и вспучивания-усадки. // *Математическое моделирование*. 2000. Т. 12, №5. С. 107-113.
5. Страхов В.Л., Гаращенко А.Н., Рудзинский В.П. Математическое моделирование работы водосодержащих вспучивающихся огнезащитных покрытий. // *Пожаровзрывобезопасность*. 2003. Т. 12, №1. С.39-46.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц. Теоретическая физика: Т.7. Теория упругости. - М.: Наука, 1987.- 248 с.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц. Теоретическая физика: Т.6. Гидродинамика. - М.: Наука, 1986.- 736 с.
8. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. - М.: Наука, 1967.- 491 с.

УДК 624.9+665.6/7

С.А. ШВЫРКОВ, Я.И. ЮРЬЕВ, Н.А. ЛИТАШ
Академия ГПС МЧС России

ПРИМЕНЕНИЕ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА В КОНСТРУКЦИЯХ ОГРАЖДЕНИЙ РЕЗЕРВУАРОВ НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ

S. SHVYRKOV, YA. YURIEV, N. LITANSH
**THE USAGE OF STEEL FIBRE CONCRETE IN RESERVOIR BARRIER
CONSTRUCTIONS ON WEAK GROUNDS**

Представлена современная конструкция ограждения с волноотражающим козырьком, способная воспринимать гидродинамические нагрузки от потока нефти или нефтепродукта, образующегося при возможной разгерметизации резервуара. Показана возможность обустройства такой конструкции на слабых грунтах за счет применения взамен традиционного железобетона – сталефибробетона, на порядок успешнее работающего на растяжение, изгиб, а также ударные нагрузки.

Процесс хранения нефти и нефтепродуктов в вертикальных стальных резервуарах (РВС), являющихся основными сооружениями, как нефтебаз, так и современных углеводородных терминалов, всегда сопряжен с повышенным риском неконтролируемого выброса горючего вещества с разливом его на значительной площади возникновением пожара.