

1-ый тип – образцы изготовлены из плитного утеплителя, постоянно хранящегося в закрытых теплых складах;

2-ой тип – образцы изготовлены из плитного утеплителя, прошедшего экспонирование на открытом воздухе.

В настоящее время разработана методика проведения исследований прочностных и упругих характеристик материала плитных утеплителей и с июля 2006 года минераловатные плиты «Белтеп» и плиты полистирольные типа ПСБ - С (ГОСТ 15588 - 86) экспонируются на открытом воздухе.

В феврале 2007 года будут выполнены исследования первой партии образцов, прошедших экспонирование на открытом воздухе в течение 6 месяцев с целью определения:

- предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе, сжатии, растяжении;
- величины условного предела прочности при местном смятии.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кузьмичев Р.В. Метод расчета прочности и деформаций легких штукатурных систем утепления // Архитектура и строительство, 2005. – №6 – с.116-117.
2. Пособие по физико-механическим характеристикам строительных пенопластов и сотовых. – М.: Стройиздат, 1977. – 79 с.
3. ПЗ-2000 к СНиП 3.03.01-87. Проектирование и устройство тепловой изоляции ограждающих конструкций жилых зданий. – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2000. – 86 с.

4. Кузьмичев Р.М. Высокотехнологичная энергоэффективная система утепления стен жилых зданий. Автореферат канд. дисс. – Мн.: БНТУ, 2006 – 22 с.

5. Галузо Г.С., Коваженкова В.И., Галузо О.Г., Кузьмичев Р.В. Исследование деформативных свойств минераловатных плит и полимерных клеевых составов, применяемых при тепловой изоляции наружных стен зданий // Материалы 2-1 международной науч.-техн. конф. БНТУ. - Мн.: БНТУ, 2004. – с. 432-436.

6. Цветков А.К. Исследование влияния температурно-влажностных воздействий на изменение внутренних напряжений в клееных деревянных конструкциях. Канд. дисс. – М.: ЦНИИСК, 1977. – 163 с.

7. Черноиван В.Н., Черноиван Н.В. Анализ конструктивно-технологических решений дополнительной теплозащиты стен эксплуатируемых зданий. //Вестник БГТУ. Строительство и архитектура, 2004. №1 (25). – С.34-36.

8. Потерщук В.А. Пути дальнейшего энергосбережения в жилых зданиях. Белорусский строительный рынок, 1998. – №5. – С. 2...3.

9. Монастырев П.В. Технология устройства дополнительной теплозащиты стен жилых зданий. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 160 с.

10. Чистяков А.М., Климов О.И. В сб.: Влияние температурных воздействий на несущую способность слоистых панелей. – М.: Стройиздат, Труды ЦНИИСК, вып.51, 1975. – с. 93-102.

Статья поступила в редакцию 18.01.07

УДК 614.814

Якимук В.П.

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОГО ПОЖАРА

Кинетический подход к оценке огнестойкости конструкций является логическим развитием статического подхода и позволяет преодолеть теоретические трудности, характерные для статического подхода при учете фактора времени, изменчивости и сочетания нагрузок [1, 2-11, 12, 13].

Преодоление этих теоретических трудностей упрощается тем, что элементы кинетического подхода содержатся в методе предельных состояний. Это находит отражение в определенной свободе трактовки понятия "предельное состояние", которое можно истолковать как достижение к концу срока службы предельной величины меры повреждений [9].

При использовании кинетического подхода уравнение предельного равновесия также включает в себя показатели изменения прочности и деформативности материалов конструкций в рассматриваемых условиях. Однако способ описания изменения значений этих показателей основывается не на статических, а на кинетических представлениях о природе прочности, деформативности, разрушения твердых тел.

Согласно кинетической концепции прочности (ККП) [12,13], разрушение твердого тела рассматривается не как критическое событие, а как кинетический, термоактивационный процесс, развивающийся в твердом теле во времени.

Основой и содержанием ККП является понятие о "долговечности" тела τ_d , как времени существования тела от момента приложения нагрузки до наступления того или иного предельного состояния, а также выяснение того, что происходит в напряженном теле на протяжении его долговечности [12].

В теории огнестойкости время также играет большую роль. Понятие "огнестойкости" является эквивалентом понятия "долговечности" твердого тела, отнесенного к специфическим условиям пожара. Фактически, "огнестойкость" строительной конструкции характеризует "время" ее существования от начала воздействия пожара до наступления того или иного предельного состояния, т.е. ее долговечность в условиях пожара [9,10, 13].

Общность методических и физических принципов, лежащих в основе представлений о "долговечности" и "огнестойкости" послужила основой применения ККП для оценки огнестойкости строительных материалов и конструкций [9, 10].

Возможности использования ККП в качестве физической основы более общих методов оценки огнестойкости определяются соответствием выявленных особенностей разрушения и деформирования реальных материалов строительных конструкций основным соотношениям кинетической концепции прочности.

Возможность учитывать не только температуру материала, но и длительность и интенсивность ее воздействия, т.е. всю "термическую" историю воздействия пожара достигается тем, что в математической модели, описывающей изменение характеристик прочности и деформативности материалов, время воздействия пожара вводится как равноправная независимая переменная.

Речь идет о том, что вместо однозначных зависимостей изменения сопротивления материалов в рассматриваемых условиях использовать более общие зависимости типа:

Якимук Валерий Петрович, ведущий научный сотрудник научно-практического центра Учреждения «Брестское областное управление МЧС».

$$\gamma(\tau) = \frac{R(\tau)}{R} \quad (1)$$

или

$$R(\tau) = \int (T, \tau), \quad (2)$$

где: $R(\tau)$ – "объективная" прочность [9, 10] материала, равная напряжению σ , которое требуется для разрушения образца в момент времени τ произвольного высокотемпературного воздействия $T(\tau)$;

$\gamma(\tau)$ – коэффициент изменения величины $R(\tau)$, относительно ее начального значения.

Задачи, существенным отличием которых является введение нового переменного - времени, которое участвует в уравнениях либо в явном виде, либо в виде производных от неизвестных функций от времени, относятся к классу кинетических задач [9, 10]. В связи с этим, методы расчета конструкций на огнестойкость, основанные на введении времени как независимой переменной, не относятся к статическим задачам и их следует относить к классу кинетических задач огнестойкости.

Принципиальным отличием кинематического подхода к оценке огнестойкости конструкций от статического подхода является:

1. Использование принципа суммирования, который позволяет в общем случае произвольные закономерности изменения термических или силовых нагрузок расчленить на необходимое количество элементарных воздействий постоянных температур или нагрузок в различные моменты времени. Суммарная деформация, степень разрушения, утрата прочности материала принимается равной сумме деформаций, степеней разрушения, утрат прочности от действия каждой элементарной термической, силовой или иной нагрузки.

2. Использование для описания изменения сопротивления материала при нагреве кинетических соотношений типа "прочность-температура-время".

Принцип линейного суммирования повреждений и деформаций в твердом теле для условий, когда тело, нагруженное до напряжений σ , подвергается воздействию произвольной последовательности температур T_i ; (рис. 1), каждой из которых соответствует долговечность тела $\tau_d(\sigma, T)$, фор-

мулируется в виде критерия, согласно которому за отрезок времени $\Delta\tau_i$ воздействия на твердое тело происходит потеря

доли ресурса долговечности $\frac{\Delta\tau_i}{\tau_d(\sigma, T_i)}$ или изменение де-

формации $\Delta\epsilon(\sigma, T_i)$ (рис. 1).

1-кривая прогрева материала; 2-ступенчатая функция, аппроксимирующая кривую 1; 3-кривая деформации материала при его прогреве по кривой 1; 4-кусочно-линейная аппроксимация кривой 3.

Наступление предельного состояния тела в этом случае происходит при условии, когда сумма долей израсходованно-

го ресурса долговечности $\frac{\Delta\tau}{\tau_d}$ станет равной единице:

$$\sum_i \frac{\Delta\tau_i}{\tau_d(\sigma, T_i)} = 1,0 \quad (3)$$

или сумма долей деформации материала достигнет недопустимого уровня ϵ^{cr} :

$$\epsilon(\tau) = \sum_i \Delta\epsilon(\sigma, T_i). \quad (4)$$

В интегральной форме зависимости (3), (4) имеют вид:

$$\int_0^{\tau_d} \frac{d\tau}{\tau_d[\sigma, T(\tau)]} = 1,0 \quad (5)$$

$$\epsilon(\tau) = \int_0^{\tau_d} \epsilon[\sigma, T(\tau)] d\tau, \quad (6)$$

где: $\epsilon[\sigma, T(\tau)]$ – скорость изменения деформации матери-

ала, $\epsilon = \frac{d\epsilon}{d\tau}$.

Многочисленные исследования долговечности различных материалов показали [9, 12, 13] существование устойчивых закономерностей изменения прочности и деформативности материалов в широком диапазоне постоянных температур и напряжений. Эти закономерности выражаются в виде кинетических соотношений типа "прочность-температура-время":

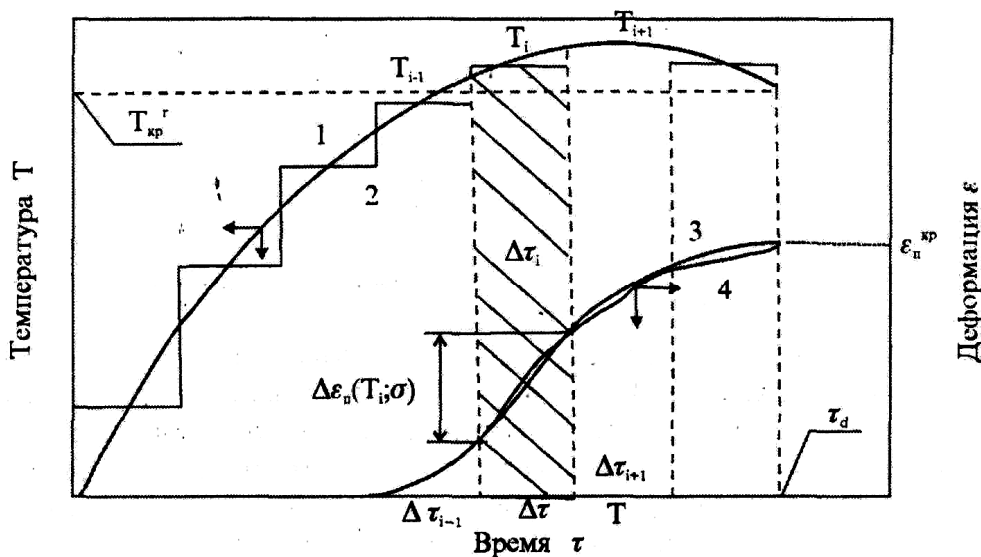


Рис. 1. Общая схема реализации принципа линейного суммирования при расчетах конструкций на огнестойкость с учетом режима реального пожара [10]

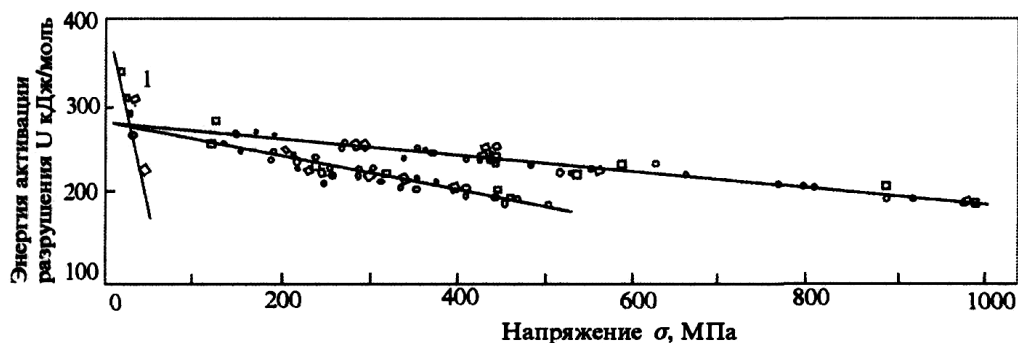


Рис. 2. Зависимости энергии активации разрушения U различных материалов строительных конструкций от уровня напряжений от механической нагрузки σ и различных режимах прогрева $T(\tau)$ [12]

$$\tau_d = \tau_0 \exp\left(\frac{U}{kT}\right) = \tau_0 \exp\left(\frac{U_0 - \gamma\sigma}{kT}\right) \quad (7)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \exp\left(-\frac{U}{kT}\right) = \varepsilon_0 \exp\left(\frac{U_0 - \gamma\sigma}{kT}\right), \quad (8)$$

где: $U = U_0 - \gamma\sigma$ – имеет смысл энергии активации процесса разрушения, кДж/моль; U_0 – имеет смысл начальной энергии активации процесса разрушения, кДж/моль; τ_0 и ε_0 – предэкспоненциальные множители; σ – напряжение материала, обусловленное механической нагрузкой, МПа; γ – коэффициент определяющий степень уменьшения величины U_0 , под действием приложенного напряжения σ , кДж/(моль МПа); k – постоянная Больцмана ($k = 8,37 \cdot 10^{-3}$ кДж/(моль град)); ε – скорость деформации ползучести.

Было установлено [12, 13], что коэффициенты U_0 , и γ сохраняют постоянные значения в интервале условий возможного реального пожара (рис.2), связаны простыми соотношениями с характеристиками прочности и деформативности.

Эти свойства кинетических коэффициентов U_0 и γ позволяют рассматривать их в качестве более емких носителей информации о поведении материалов в условиях пожара и использовать в качестве обобщенных характеристик сопротивления материалов воздействию пожара.

Тогда выражения (5) и (6), с учетом (7) и (8) принимают вид:

$$\int_0^{\tau_d} \frac{d\tau}{\tau_0 \exp\left[\frac{U_0 - \gamma\sigma}{kT(\tau)}\right]} = 1,0 \quad (9)$$

$$\varepsilon_s(\tau) = \int \varepsilon_0 \exp\left[-\frac{U_0 - \gamma\sigma}{kT(\tau)}\right] d\tau. \quad (10)$$

Выражения (9) и (10) используются для определения изменений прочности и деформативности материалов конструкций при учете произвольного температурного воздействия типа реального пожара при решении кинетических задач огнестойкости.

Рассмотрение графиков показывает, что, по мере прогрева по стандартному режиму, деформации растянутой арматуры сначала растут с постоянной скоростью за счет температурного расширения. Затем скорость деформации, за счет развития температурной ползучести, начинает возрастать более интенсивно. При температуре металла выше 350-400°C скорость деформации ползучести резко увеличивается и кривая полной деформации стали приближается к вертикали. Это свидетель-

ствует о том, что прочность нагретого материала исчерпана и образец разрушается. Температура образца, при данном прогреве, соответствующая наступлению той или иной предельной деформации принимается в качестве "критической" температуры материала под нагрузкой.

Аналогично определяется критическая температура нагрева сжатых бетонных образцов (рис. 3).

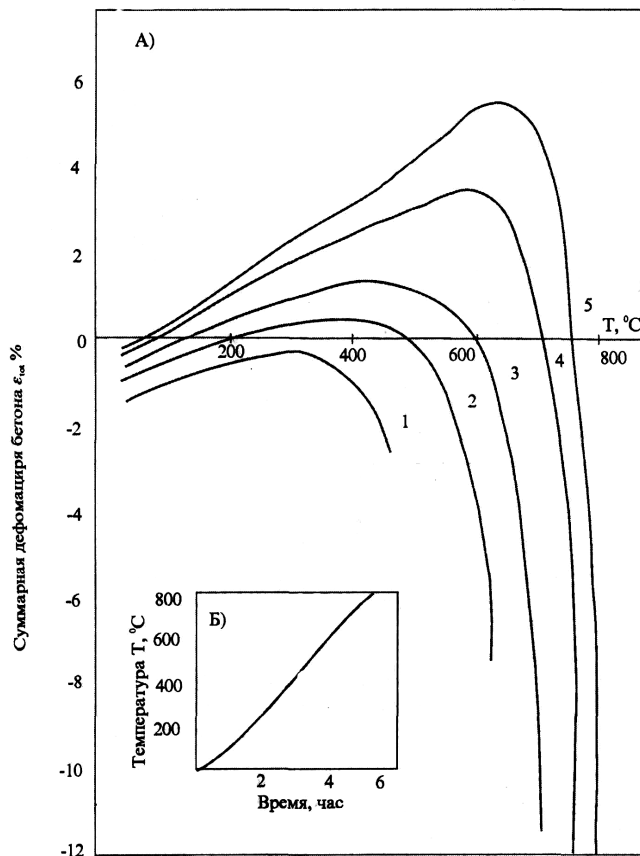


Рис. 3. Кривые полных деформаций бетона на гранитном щебне при нагреве по режиму типа "стандартного" пожара и различной степени нагружения $\gamma_B = \frac{\sigma_B}{R_B}$

[4]

Аналогично с картиной деформации стали под нагрузкой при нагреве, скорость деформации ползучести по мере прогрева быстро растет и на завершающей стадии испытания кривая полной деформации также приближается к вертикали. Это свидетельствует о том, что прочность нагретого бетона исчерпана и образец разрушается.

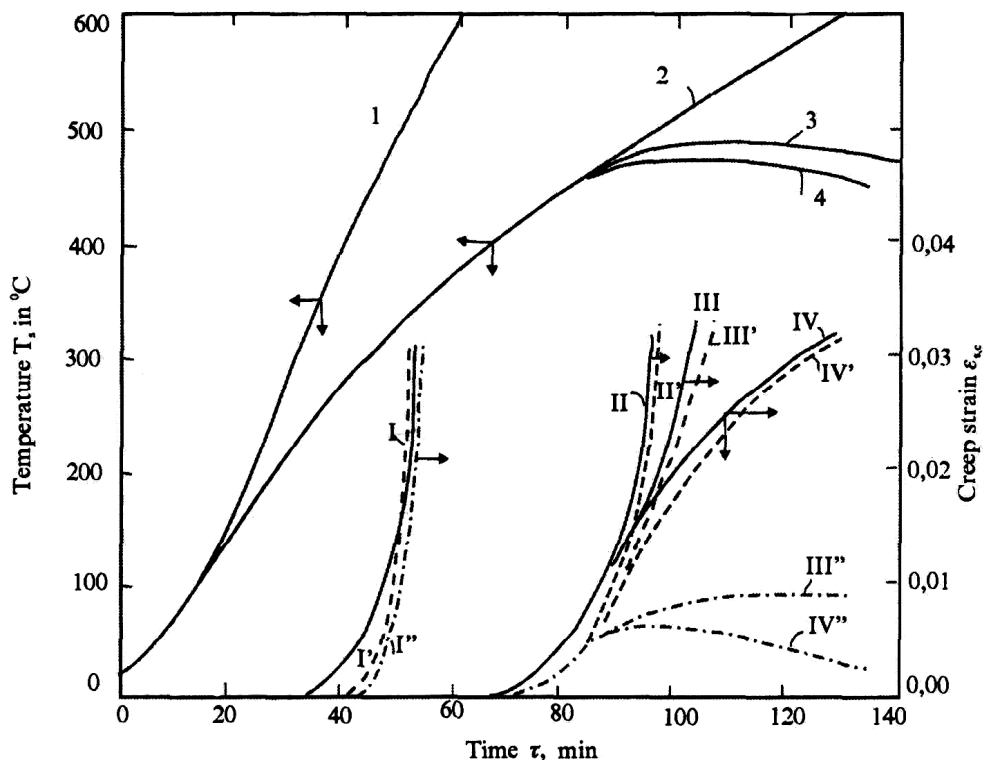


Рис. 4. Кривые развития деформации ползучести стали Ат-У при режимах прогрева 1,2,3,4 и напряжении в арматуре $\sigma_s = 437,5$ МПа [11]

Аналогично с картиной деформации стали под нагрузкой при нагреве, скорость деформации ползучести по мере прогрева быстро растет и на завершающей стадии испытания кривая полной деформации также приближается к вертикали. Это свидетельствует о том, что прочность нагретого бетона исчерпана и образец разрушается.

Практика и многочисленные специальные исследования показывают [9, 10, 13], что режим "стандартного" пожара, используемый при проведении огневых испытаний и расчетах огнестойкости конструкций, не отражает многообразия возможных условий реальных пожарных ситуаций. Опыты показали (рис.4), что при температурном воздействии на образцы арматурных сталей типа реального пожара, кривые полной деформации $\epsilon_{s,tot}(T)$, в зависимости от скорости нагрева и охлаждения, могут весьма существенно отличаться от аналогичных кривых, полученных при температурном воздействии типа "стандартного" пожара.

В этих условиях кривые полной деформации стали $\epsilon_{s,tot}(T)$ отклоняются от вертикали и при больших скоростях охлаждения будут стремиться к горизонтали.

При температурном воздействии типа реального пожара на бетонные образцы кривые полной деформации $\epsilon_{B,tot}(T)$ в зависимости от скорости нагрева и охлаждения также могут весьма существенно отличаться от аналогичных кривых, полученных при температурном воздействии типа "стандартного" пожара. Кривые суммарной деформации бетона $\epsilon_{B,tot}(T)$, так же как и стали, отклоняются от вертикали и при больших скоростях охлаждения стремятся к горизонтали.

Это явление объясняется торможением ползучести, уменьшением ее скорости при окончании фазы прогрева материала и начала фазы его охлаждения в условиях реального пожара, вплоть до полной ее остановки.

Таким образом, строительные материалы весьма специфическим образом реагируют на условия температурного воздействия, отличного от условий "стандартного" пожара. Процессы деформаций и разрушения строительных конструкций развиваются не только на стадии разогрева, но и на стадии остывания и зависят не только от температуры нагрева, но и времени ее воздействия. Причем доля деформации образцов материалов на стадии их охлаждения в ряде случаев может быть сопоставимо с долей деформации, достигнутой на стадии разогрева.

Предельное состояние материала может быть достигнуто после достижения максимальной температуры нагрева, на ниспадающей ветви температурной кривой пожара, при температурах меньших критических, полученных при "стандартном" пожаре. Неучет этих реально наблюдаемых явлений при расчетах конструкций на огнестойкость может приводить к существенной недооценке опасности реального пожара. В связи с этим возникает необходимость в использовании более общих параметров и характеристик прочности и деформативности материалов, которые позволяют учитывать при расчетах конструкций на огнестойкость не только температуру материала, но и длительность и интенсивность ее воздействия.

Для достижения этой цели, в математической модели, описывающей изменение степени разрушения материала прогреваемой конструкции, его прочности и деформативности, время воздействия пожара должно вводиться как равноправная независимая переменная [9, 10, 13].

В работах [9, 10] для описания изменения сопротивления или деформации при пожаре предлагается вместо зависимостей типа "прочность-температура" использовать кинетические соотношения типа "прочность-температура-время". В качестве такого рода соотношений могут быть использованы основные соотношения кинетической концепции прочности (ККП) и представления об обобщенных характеристиках прочности и деформативности материалов U_0 и γ [12, 13].

Например, полную деформацию рабочей арматуры $\varepsilon_{s,tot}(\tau)$ изгибаемых элементов конструкций при воздействии пожара предлагается определять из следующего соотношения:

$$\varepsilon_{s,tot}(\tau) = \varepsilon_{s,\sigma}(T) + \varepsilon_{s,\alpha}(\tau) + \varepsilon_{s,c}(\tau), \quad (11)$$

где: $\varepsilon_{s,\sigma}$ – упругая деформация арматуры; $\varepsilon_{s,\alpha}$ – температурная деформация арматуры; $\varepsilon_{s,c}$ – деформация ползучести арматуры, определяемая из кинетического соотношения (10).

На рис.4 приведено сопоставление опытных данных о ползучести стали Ат-У при различных режимах прогрева с результатами расчета этой деформации, полученными двумя способами - с помощью статических соотношений и с помощью кинетических соотношений (10). Рассмотрение полученных данных свидетельствует о том, что:

- при режиме типа "стандартного" пожара как статические так и кинетические соотношения дают близкое совпадение с опытными данными (кривые I, I', I'' рис.4);
- кинетическое соотношение (10) дает хорошее совпадение с опытными данными также и при произвольных режимах прогрева и тем самым позволяет учесть проявления ползучести при переменных скоростях прогрева, характерных для режимов реальных пожаров (см. кривые II и II', III и III', IV и IV' рис.3.11);
- статические зависимости типа приведенных на рис. 3 в силу своей ограниченности условиями стандартного испытания не могут воспроизвести характер развития деформации ползучести при произвольных режимах пожара и, как видно из сравнения кривых III и III'', IV и IV'' рис.4, приводят к недооценке опасности реального пожара, так как опытная, фактическая ползучесть получается намного выше расчетной.

Таким образом, приведенный пример показывает, что кинетические соотношения типа (10) более точно отражают влияние произвольного прогрева на сопротивление материалов конструкций, чем однозначные зависимости типа $\varepsilon_r(T)$ на рис. 3.

УДК 614.814

Якимук В.П.

ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ЗАДЫМЛЕНИЯ ПРИ РЕАЛЬНОМ ПОЖАРЕ В ВЫСОКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ ПО НОРМАМ США

Введение

Большинство людей, ставших жертвами пожаров, погибли не от ожогов, а оттого что задохнулись в дыму. В технике дымоудаления принято определение дыма как смеси продуктов сгорания, включающих газы и частицы твердых тел и жидкостей, с воздухом, проникающим извне [1]. Опасность, возникающая при задымлении зданий, состоит в следующем:

- наличие в продуктах сгорания токсичных газов. Наиболее типичным примером является окись углерода (угарный газ). Кроме того, в зависимости от состава горящих материалов могут присутствовать наркотические (цианистый водород) и раздражающие (кислотные) вещества;
- пониженный уровень кислорода, вызванный процессом горения, который может стать причиной асфиксии;
- высокая температура продуктов сгорания, что опасно как для людей, находящихся в дыму, так и для тех, кто подвергается тепловому облучению от этой среды;

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Яковлев А.И., Ройтман В.М. Огнестойкость строительных конструкций (Учебное пособие). – М.: РИО МИСИ, 1979. – 114с., ил.
2. Мурашев В.И. Основные положения расчета и проектирования железобетонных конструкций в условиях кратковременного и длительного воздействия высоких температур. – В кн.: Теория расчета и проектирования железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1958. – с.176-186.
3. Яковлев А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1988. – 143с.
4. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1986. – 224с., ил.
5. Романенко И.Г., Зигерн-Корн В.Н. Огнестойкость строительных конструкций из эффективных материалов. – М.: Стройиздат, 1984. – 240., ил.
6. Pettersson O. Practical Need of Scientific Material Models for Structural Fire Design – General Review.-Fire Safety Journal, 13 (1988), 1-8.
7. Harmathy T.Z. Properties of building materials: bases for fire safety design. – Design of Structures Against Fire, London, 1986. – p. 87-104.
8. Кошмаров Ю.А., Молчадский И.С., Астапенко В.М., Шевляков А.Н. Термогазодинамика пожаров в помещениях. – М.: Стройиздат, 1988. – 448с.
9. Ройтман В.М. Теория расчета конструкций на огнестойкость. Вчерашние стереотипы или новые подходы? – Пожарное дело, №5, 1989. – с.8-10.
10. Roitman V.M. Consideration of Real Fire Conditions while Calculating the Fire Resistance of Building Structures on the Basis of the Kinetic Approach.-Fire Safety Journal, 16 (1990). – p. 433-442.
11. Roitman V.M., Demekhin V.N., Abdul Majeed M.A. A simplified Prediction Method of Real Fire Exposure as a Basis for Analytical Structural Fire Design. – Fire Safety Science – Proceedings of the Third International Symposium. – Elsevier Applied Science, London and New York, 1991. – p. 751-759.
12. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. – М: Наука, 1974. – 347с., ил.
13. Бетехтин В.И., Ройтман В.М., Слуцкер А.И., Кадомцев А.Г. Кинетика разрушения нагруженных материалов при переменной температуре. – Журнал технической физики, 1998, т.68, VI. – с.76-81.

Статья поступила в редакцию 24.01.07

- ухудшение видимости, что затрудняет эвакуацию людей и работу пожарных.

Ухудшение видимости является главной опасностью, которую следует учитывать при проектировании дымоудаления, особенно для обитателей тех помещений, которые не находятся непосредственно в зоне возгорания. В литературе по пожаротушению приведен диапазон допустимых уровней видимости [2]. Для людей, знакомых с планировкой здания и знающих путь к спасению, допустимый уровень видимости составляет 3 - 5 м, а для тех, кто плохо ориентируется, уровень видимости должен быть не менее 25 м.

Воздействие остальных источников опасности (токсичных газов, высокой температуры, пониженного уровня кислорода) существенно для тех людей, которые находятся близко к очагу пожара или в облаке дыма. Развернутое обсуждение вредного воздействия дыма, включая токсичные газы и предельно допустимые уровни для оценки вероятности наступления смертельного исхода или нетрудоспособности, приведено в [3].