

УДК 614.841.332

Н.А. ИЛЬИН

кандидат технических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и охраны окружающей среды, заведующий циклом «Пожарная безопасность», заместитель директора по науке научно-технического центра «Пожарная безопасность» Самарский государственный архитектурно-строительный университет

А.И. БИТЮЦКИЙ

кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций Самарский государственный архитектурно-строительный университет

А.П. ШЕПЕЛЕВ

ведущий инженер Экспертной организации «Промбезопасность» Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Е.И. ФРОЛОВА

инженер Экспертной организации «Промбезопасность» Самарский государственный архитектурно-строительный университет

С.В. ЭСМОНТ

инженер Экспертной организации «Промбезопасность» Самарский государственный архитектурно-строительный университет

К ОЦЕНКЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ КАМЕННЫХ СТЕН И ПЕРЕГОРОДОК ЗДАНИЙ

ASSESSMENT OF FIRE RESISTANCE OF MASONRY WALLS AND PARTITIONS OF BUILDINGS

Разработано техническое решение, которое относится к области пожарной безопасности зданий и сооружений (далее – «зданий»). В частности, оно может быть использовано для классификации неармированных каменных конструкций зданий по показателям сопротивления их воздействию пожара. Это дает возможность обоснованного использования существующих каменных конструкций с фактическим пределом огнестойкости в зданиях различных категорий по их пожарной опасности.

Ключевые слова: каменные стены, неразрушающие испытания, фактическая огнестойкость, методика расчета, ресурсосбережение.

Необходимость определения показателей огнестойкости каменных стен и перегородок (далее - «стен») возникает при реконструкции здания, усилении его частей и элементов, приведении огнестойкости каменных стен здания в соответствие с требованиями современных норм, при проведении экспертизы и/или восстановлении каменных конструкций после пожара.

Developed a technical solution that relates to the fire safety of buildings and structures. Particularly it can be used for the classification of unreinforced masonry structures of buildings on indicators their resistance to fire. This gives the possibility of reasonable use of the existing masonry structures with the actual fire-resistance rating in buildings of various categories according to their fire hazard.

Key words: stone walls, nondestructive testing, the actual fire resistance, design procedure, resource-saving.

При реконструкции здания возможно переустройство и перепланировка помещений, изменение их функционального назначения, замена каменных стен и оборудования. Это влияет на изменение требуемой огнестойкости здания и его огнепреграждающих конструкций.

Известен способ определения огнестойкости каменных стен и перегородок здания по результа-

там изучения последствий натурного пожара. Этот способ включает определение положения стен в здании, оценку состояния конструкции путем осмотра и измерения, изготовление контрольных образцов камня, определение времени наступления предельного состояния по потере несущей способности конструкции, т.е. обрушения в условиях действия внешней нагрузки и теплового воздействия [1].

В этом способе пределы огнестойкости вычисляют приближенно по результатам исследования последствий прошедшего пожара. Детальное исследование предопределяет длительную работу эксперта. При этом невозможно определить огнестойкость натуральных каменных стен, имеющих другие размеры и другую внешнюю нагрузку. Затруднительно сопоставление полученных результатов со стандартными огневыми испытаниями аналогичных каменных стен. Следовательно, этот способ дорог, имеет малую технологическую возможность к повторным испытаниям, трудоемок и опасен для испытателей.

Известен способ оценки огнестойкости каменных стен здания по результатам натуральных огневых испытаний фрагмента зданий, в котором производят осмотр конструкций, определяют влажность материала стены, назначают статическую нагрузку на конструкцию соответственно реальным условиям эксплуатации здания, определяют факторы, влияющие на огнестойкость испытываемой конструкции, и величину предела огнестойкости [2].

В этом способе велики экономические затраты на проведение огневых испытаний, наблюдения за состоянием каменных стен в условиях экспериментального пожара затруднено и небезопасно; вследствие различий теплового режима опытного и стандартного пожаров затруднено определение истинных значений пределов огнестойкости каменных стен; причины разрушения каменных стен фрагмента могут быть не установлены вследствие многообразия одновременно действующих факторов пожара. Предельное состояние по огнестойкости каменной стены может быть не достигнуто из-за более раннего разрушения изгибаемых элементов покрытия фрагмента [3].

Наиболее близким техническим решением задачи того же назначения является способ определения огнестойкости каменных стен здания путем испытания, включающего проведение технического осмотра, установление вида камня и раствора стены, выявление условия их опирания и крепления, определение времени наступления предельного со-

стояния по потере несущей способности стены под нормативной нагрузкой в условиях стандартного пожара [4].

При использовании способа, принятого ГОСТ 30247.1-94, испытания проводят на образцах каменных стен, на которые воздействуют только постоянные и длительные нагрузки в их расчетных значениях с коэффициентом надежности, равным единице, т.е. проектные нормативные нагрузки. Испытания проводят на специальном стендовом оборудовании в огневых печах до разрушения образцов каменной конструкции. Размеры образцов ограничивают в зависимости от проемов стационарных печей. Следовательно, стандартные огневые испытания трудоемки, неэффективны, небезопасны, имеют малые технологические возможности для проверки на опыте различных по размерам и различно нагруженных каменных конструкций, не дают необходимой информации о влиянии единичных показателей качества каменной конструкции на ее огнестойкость. Определение огнестойкости каменной конструкции по единичному показателю качества, например, по толщине стены, как правило, недооценивает пригодность эксплуатации каменной конструкции в здании заданной степени огнестойкости. Экономические затраты на проведение испытаний возрастают за счет расходов на возведение образца каменной конструкции по месту установки нагревательных печей и на создание в них стандартного теплового режима. По малому числу испытываемых образцов (2-3 шт.) невозможно судить о действительном состоянии каменных конструкций здания. Результаты огневого испытания единичны и не учитывают разнообразие в закреплении концов каменных стен, их фактические размеры, схемы обогрева опасного сечения испытываемых стен.

Сущность технического решения заключается в следующем: задача состоит в установлении показателей пожароопасности здания в части гарантированной длительности сопротивления в условиях пожара; в определении фактических пределов огнестойкости каменных стен и перегородок при проектировании, строительстве и эксплуатации здания; в снижении экономических затрат при испытании конструкций на огнестойкость [5].

Технический результат *достигается* тем, что в способе определения огнестойкости каменных стен здания путем испытания, включающего проведение технического осмотра, установление марок кирпича, камня и раствора каменной кладки, вы-

явление условий опирания и крепления стен, установление предельного состояния каменных стен по огнестойкости, определение времени наступления предельного состояния по огнестойкости каменных стен под нормативной нагрузкой в условиях одностороннего теплового воздействия стандартного пожара, *особенность* заключается в том, что испытание каменных стен проводят *без разрушения*, используя комплекс единичных показателей качества неармированных каменных стен, назначают число и место расположения участков, в которых определяют показатели качества, технический осмотр дополняют инструментальными измерениями геометрических размеров каменных стен в их опасных сечениях, выявляют схему нагрева опасных сечений каменных стен при пожаре, находят временное сопротивление сжатию каменной кладки, устанавливают нормативную нагрузку на каменные стены при испытании на огнестойкость, определяют величину интенсивности силовых напряжений в опасных сечениях стен, и - используя полученные параметры единичных показателей качества неармированных каменных конструкций - вычисляют фактический предел огнестойкости неармированной каменной стены по потере *несущей способности* $F_{u(R)}$ мин, по формуле

$$F_{u(R)} = (5 \cdot m_{об} \cdot k_{оп} \cdot \varphi \cdot h_{мин}^2 \cdot (1 - J_{со})^2) / (D_{км}^2 \cdot R_u^{0,25}), \quad (1)$$

где $k_{оп}$ – коэффициент условий опирания стены (0,75÷1); $m_{об}$ – коэффициент условий обогрева сечения стены: $m_{об} = (P/P_o)^{1,2}$; P и P_o – соответственно периметр и обогреваемая часть периметра поперечного сечения стен, мм; φ – коэффициент продольного изгиба стены (0,05÷1); $h_{мин}^2$ – минимальный размер толщины стены, мм; $J_{со}$ – интенсивность силовых напряжений в опасном сечении стены; $D_{км}$ – показатель термодиффузии кладки, мм²/мин; R_u – временное сопротивление сжатию каменной кладки, МПа, определяемое по формуле (3) СНиП II-22-81:

$$R_u = k \cdot R,$$

здесь $k=2,0$ – для кладки из кирпича и камней всех видов; $k=2,5$ – для кладки из ячеисто-бетонных блоков (см. табл. 14 СНиП II-22-81); R – расчетное сопротивление сжатию кладки, МПа, принимаемое по табл. 2÷9 СНиП II-22-81. Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования.

Величину предела огнестойкости каменных стен по потере *теплоизолирующей способности* $F_{u(I)}$ мин, вычисляют по формуле

$$F_{u(I)} = 3,5 \cdot (h_{мин} / D_{км})^2, \quad (2)$$

где $h_{мин}$ – минимальный размер толщины стены, мм; $D_{км}$ – показатель термодиффузии материала стены, мм²/мин.

Интенсивность силовых напряжений в опасном сечении каменных стен от нормативной нагрузки при испытании на огнестойкость определяют из условия

$$J_{со} = (\gamma_n / k_f) \cdot (N_p / N_{cc}), \quad (3)$$

где $J_{со}$ – интенсивность силовых напряжений в опасном сечении (0÷0,95);

γ_n – коэффициент уровня ответственности конструкций здания (0,8÷1,1 – ФЗ №384-2010); N_{cc} ; N_p – соответственно несущая способность каменных стен, кН; и нормативная нагрузка на них в условиях огневого испытания; k_f – коэффициент надежности по нагрузке (1,2÷1,4).

Показатель термодиффузии материала стен $D_{км}$ мм²/мин, определяют экспериментально при осредненной температуре $t_m=450$ °С или находят из математического выражения

$$D_{км} = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot (\lambda_0 + b \cdot 10^{-3} \cdot t_m)}{\gamma_c \cdot (C_0 + d \cdot 10^{-3} \cdot t_m + \omega / 20)}, \quad (4)$$

где λ_0 и C_0 – соответственно коэффициент теплопроводности (Вт/(м·°С)) и удельная теплоемкость (кДж/(кг·°С)) кладки при $t_n=20$ °С; t_m – осредненная температура нагрева материала по сечению стен (450°С); b и d – термические показатели теплопроводности (Вт/(м·С)) и удельной теплоемкости (кДж/(кг·°С)) материала; ω и γ_c – соответственно влажность материала, % по массе, и средняя плотность сухого материала каменных стен, кг/м³.

Величину коэффициента условий платформенного опирания каменных стен на жесткое основание принимают равным $K_o=1$; при опирании на упруго-пластическое основание по цементному раствору - вычисляют по формуле

$$k_{оп} = 0,85 - (\delta_{шв} - 5) / 150, \quad (5)$$

где $k_{оп}$ – коэффициент условий платформенного опирания стен на упруго-пластическое основание (0,75÷0,85); $\delta_{шв}$ – толщина растворного шва (5÷20 мм).

Длительность сопротивления неармированных каменных стен от начала одностороннего теплового воздействия стандартного пожара до *потери целостности* $F_{u(E)}$ мин, вычисляют по формуле

$$F_{u(E)} = 0,99 \cdot F_{u(R)}, \quad (6)$$

Вычисленный предел огнестойкости каменных стен по потере несущей способности $F_{u(R)Y}$ мин, и целостности $F_{u(E)Y}$ мин, сравнивают с пределом огнестойкости по потере теплоизолирующей способности $F_{u(I)Y}$ мин, принимая за фактический предел огнестойкости стен по потере целостности, несущей и теплоизолирующей способности $F_{u(RE)Y}$ мин, *наименьшее* из полученных значений.

Неразрушающие испытания проводят для группы однотипных каменных стен, различия между прочностью кирпича, камня и раствора которых обусловлены главным образом случайным фактором.

Число испытаний $n_{ис}$ единичного показателя качества каменных стен, при вероятности результата 0,95 погрешности, принимают по формуле

$$n_{ис} = 0,15 \cdot v^2 \geq 6, \quad (7)$$

где v – выборочный коэффициент вариации результатов испытаний, %.

В случае, когда все единичные показатели качества каменных стен, при M более 9 шт, находятся в контрольных пределах, минимальное целое число стен в выборке по плану сокращенных испытаний $M_{мин}$ шт., назначают из условия

$$M_{мин} = 0,3 \cdot (15 + M^{0,5}) \geq 5, \quad (8)$$

где M – число однотипных каменных стен в здании, шт.

В случае, когда хотя бы один из единичных показателей качества каменных стен выходит за границы контрольных пределов, минимальное число испытываемых стен в выборке по норме вычисляют по формуле

$$M_{н} = 5 + M^{0,5} \geq 8. \quad (9)$$

В случае, когда хотя бы один из единичных показателей качества каменных стен выходит за границы допустимых пределов или $M \leq 5$ шт., неразрушающему испытанию подвергают все однотипные стены здания поштучно.

В предложенном техническом решении предусматривают проведение испытаний не одной, а группы однотипных каменных стен. Это позволяет в 5-15 раз увеличить число испытываемых конструкций и повысить достоверность результатов испытаний и технического осмотра здания. Определение огнестойкости каменных стен только по одному показателю качества, например, по толщине стен или перегородок, приводит, как правило, к недооценке их предела огнестойкости, поскольку влияние на

него вариаций единичных показателей качества каменных стен имеют различные знаки, и снижение огнестойкости за счет одного показателя может быть компенсировано другими. Вследствие этого в предложенном способе оценку огнестойкости каменных стен предусматривают не по одному показателю, а по комплексу единичных показателей их качества. Это позволяет более точно учесть реальный ресурс огнестойкости каменных стен и перегородок.

Теплофизические характеристики строительных материалов для каменных кладок (включая значения $D_{кит}$, мм²/мин) приведены в табл. 1.

На рис. 1 изображена расчётная схема к определению огнестойкости каменной стены здания: условная полоса стены длиной (высотой) L мм, шириной $b=1000$ мм (1 м) с равномерно-распределённой испытательной нагрузкой N_p кН/пог.м, поперечное сечение 1-1 стены толщиной h , мм; схема обогрева сечения стены; продольное сечение 2-2 и схема обогрева его сечения: 1 - каменная стена; 2 - тепловой поток, $t_{ст}$, °C; 3 - поперечное сечение стены, $b \times h$, мм; 4 - растворный шов, $\delta_{шв}$, мм; 5 - испытательная нагрузка, N_p , кН/пог.м; 6 - обогреваемая часть периметра поперечного сечения стены, P_0 , мм. *Последовательность действий* способа определения огнестойкости каменных стен и перегородок зданий состоит в следующем. Сначала проводят визуальный осмотр здания. Затем определяют группу однотипных неармированных каменных стен и их общее число в ней. Вычисляют величину выборки однотипных конструкций. Назначают комплекс единичных показателей качества каменных стен, влияющих на огнестойкость. Выявляют расчётную схему и условия закрепления концов и опасные сечения каменных стен и перегородок (см. рис. 1).

Вычисляют число испытаний единичного показателя качества каменных стен в зависимости от его статистической изменчивости. Затем оценивают единичные показатели качества каменных стен и их интегральные параметры и, наконец, по ним находят предел огнестойкости испытываемых стен.

Под визуальным осмотром понимают проверку состояния каменных стен, включающую выявление условий закрепления отдельных стен, определение марки кирпича и раствора, наличие трещин и отколов, минимальный размер толщины стены или перегородки.

В процессе осмотра определяют группы однотипных элементов конструкций. Под группой элементов конструкций в здании понимают однотип-

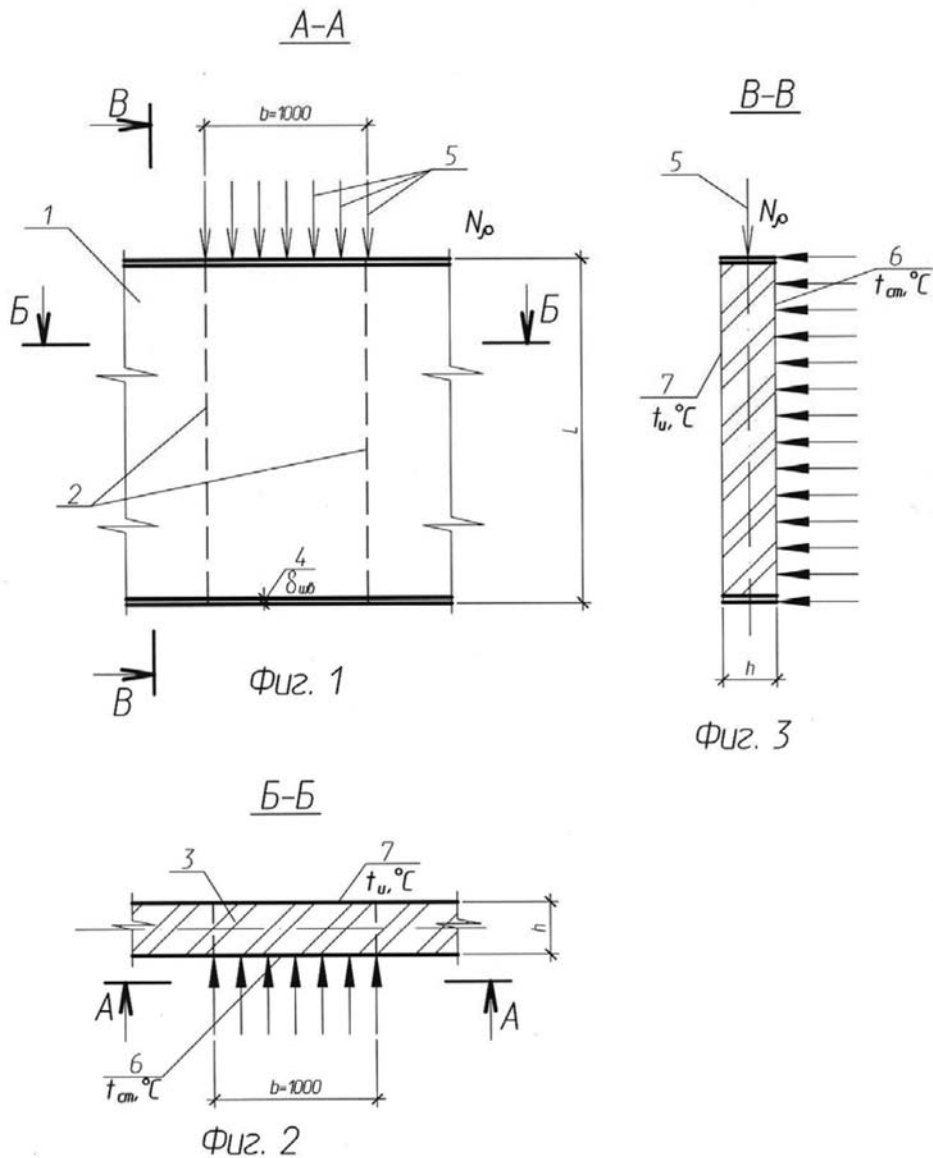


Рис. 1. К расчету огнестойкости каменной стены здания:

- 1 - каменная стена; 2 - условная полоса, $b \times l$, мм;
- 3 - поперечное сечение, $b \times h$, мм; 4 - растворный шов, $\delta_{шв}$, мм;
- 5 - испытательная нагрузка, N_p , кН/м.п.; 6 - обогреваемая часть периметра поперечного сечения, P_0 , мм; 7 - необогреваемая поверхность стены ($t_u=140^\circ\text{C}$)

ные каменные стены, изготовленные и возведенные в сходных технологических условиях и находящихся в подобных условиях эксплуатации.

Для поверочных расчетов несущей способности неармированных каменных стен определяют: высоту и толщину стен, расстояние между перекрытиями здания, отношение высоты стены к ее толщине; вид каменных стен: несущие, самонесущие, пожарные стены, перегородки из панелей и крупных блоков,

с облицовками; вид опор каменных стен: жесткие ($l_0=0,7 \cdot H$), упругие; толщину раствора под опорами; деформационные швы в стенах, расстояние между швами; вид каменной кладки: из кирпича или керамических камней, из бетонных или природных камней; из ячеисто-бетонных камней; тип кладки в зависимости от марок кирпича и камней; группа кладки в зависимости от марок раствора; вид кладки: армированная, неармированная.

Таблица 1

Теплофизические характеристики строительных материалов

Материал	Плотность ρ_c , кг/м ³	Влажность ω , %	Параметры теплопроводности, Вт/м·°С, и теплоемкости материала, кДж/кг·°С				Показатель термодиффузии $D_{\text{тм}}$, мм ² /мин
			λ_0	b	C_0	d	
1	2	3	4	5	6	7	8
1 Кладка стен из керамзитобетонных камней (ГОСТ 6133) на цементно-песчаном растворе плотностью 1800 кг/м ³							
1.1 Камни, $\gamma=1200$ кг/м ³	1270	5	0,85	0,24	0,84	0,58	19,6
1.2 Камни, $\gamma=1000$ кг/м ³	1060	5	0,28	0,22	0,84	0,54	15,6
1.2 Камни, $\gamma=800$ кг/м ³	880	5	0,23	0,20	0,84	0,50	13,0
2 Кладка стен из мелких ячеисто-бетонных блоков на цементно-песчаном растворе ($\gamma_0=1200$ кг/м ³) толщиной швов 12 мм							
2.1 Блоки из газо- и пено- бетона, $\gamma=1000$ кг/м ³	1060	6	0,25	0,12	0,84	0,4	11,7
2.2 То же, $\gamma=800$ кг/м ³	880	6	0,22	0,12	0,84	0,4	10,4
2.3 То же, $\gamma=600$ кг/м ³	700	5	0,17	0,12	0,84	0,4	8,84
3 Растворы цементные, известковые и гипсовые							
3.1 Цементно-песчаный	1800	2	0,58	0,35	0,84	0,63	20,1
3.2 Сложный (песок, известь, цемент)	1700	2	0,52	0,35	0,84	0,63	19,54
3.3 Известково-песчаный	1600	2	0,47	0,35	0,84	0,63	19,23
3.4 Цементно-шлаковый	1400	2	0,41	0,35	0,84	0,63	19,90
3.5 То же	1200	2	0,35	0,34	0,84	0,62	20,63
3.6 Цементно-перлитовый	1000	7	0,21	0,33	0,84	0,62	14,64
3.7 То же	800	7	0,16	0,32	0,84	0,62	15,52
3.9 То же, поризованный	500	6	0,12	0,30	0,84	0,60	21,56
3.10 То же	400	6	0,09	0,30	0,84	0,58	24,10
4 Кирпичная кладка из керамического камня и кирпича на цементно-песчаном растворе ($\gamma_0=1800$ кг/м ³)							
4.1 Камня керамического крупноформатного пустотелого из пористой керамики, $\gamma_0=600$ кг/м ³	670	1	0,13	0,21	0,88	0,38	18,26
4.2 То же, $\gamma_0=800$ кг/м ³	890	1	0,18	0,22	0,88	0,40	16,95

4.3 Камня керамического пустотелого (250x120x138 мм), $\gamma_o = 800 \text{ кг/м}^3$	960	1	0,2	0,22	0,88	0,40	16,84
4.4 То же, $\gamma_o = 1000 \text{ кг/м}^3$	- 9 -1130	1	0,26	0,23	0,88	0,42	17,95
4.5 То же, $\gamma_o = 1200 \text{ кг/м}^3$	1300	1	0,32	0,23	0,88	0,42	17,47
4.6 То же, $\gamma_o = 1400 \text{ кг/м}^3$	1460	1	0,39	0,23	0,88	0,42	18,12
4.7 Кирпича трепельного полнотелого одинарного утолщенного, $\gamma_o = 900 \text{ кг/м}^3$	1090	2	0,3	0,22	0,88	0,42	18,80
4.8 То же, $\gamma_o = 1000 \text{ кг/м}^3$	1170	2	0,34	0,22	0,88	0,42	19,26
4.9 Кирпича керамического пустотелого одинарного утолщенного, $\gamma_o = 1000 \text{ кг/м}^3$	1170	1	0,28	0,22	0,88	0,42	17,37
4.10 То же, $\gamma_o = 1200 \text{ кг/м}^3$	1330	1	0,34	0,22	0,88	0,42	17,70
4.11 То же, $\gamma_o = 1400 \text{ кг/м}^3$	1480	1	0,4	0,22	0,88	0,42	18,10
4.12 Кирпича керамического полнотелого одинарного утолщенного, $\gamma_o = 1600 \text{ кг/м}^3$	1640	1	0,45	0,22	0,88	0,42	17,95
4.13 То же, $\gamma_o = 1800 \text{ кг/м}^3$	1800	1	0,56	0,22	0,88	0,42	17,0
4.14 То же, $\gamma_o = 2000 \text{ кг/м}^3$	1960	1	0,66	0,22	0,88	0,42	22,61
5 Кирпичная кладка из силикатного кирпича и камня на цементно-песчаном растворе ($\gamma_o = 1800 \text{ кг/м}^3$) (ГОСТ 379)							
5.1 Полнотелого одинарного кирпича, $\gamma_o = 2000 \text{ кг/м}^3$	1960	2	1,06	-0,36	0,88	0,61	21,91
5.2 То же, $\gamma_o = 1800 \text{ кг/м}^3$	1800	2	0,78	-0,35	0,88	0,60	24,1
5.3 Пустотелого одинарного и утолщенного кирпича $\gamma_o = 1600 \text{ кг/м}^3$	1640	2	0,68	-0,35	0,88	0,60	26,41
5.4 Пустотелого 11-пустотного утолщенного кирпича и камня, $\gamma_o = 1400 \text{ кг/м}^3$	1500	2	0,64	-0,35	0,88	0,60	15,44
5.5 Пустотелого 14-пустотного утолщенного кирпича и камня $\gamma_o = 1300 \text{ кг/м}^3$	1400	2	0,52	-0,35	0,88	0,60	12,42
5.6 То же, $\gamma_o = 1200 \text{ кг/м}^3$	1300	2	0,43	-0,35	0,88	0,60	10,1
5.7 Кладка из шлакового кирпича и камня ($\gamma_o = 1400 \text{ кг/м}^3$) на цементно-песчаном растворе ($\gamma_o = 1800 \text{ кг/м}^3$)	1500	1,5	0,52	-0,35	0,88	0,60	11,84

Примечание. Здесь λ_0 и C_0 – соответственно значения теплопроводности и теплоемкости строительных материалов при $t_n = 20^\circ\text{C}$; b и d – соответственно термические коэффициенты теплопроводности и теплоемкости материалов, умноженные на 1000.

Минимальное целое число конструкций в выборке по плану нормальных или сокращенных испытаний назначают из условий (7) и (8).

Пример 1. При числе однотипных каменных стен в группе $M=120$ шт., число испытываемых принимают по норме $M_n = 5 + M^{0,5} = 5 + 120^{0,5} = 16$ шт., по сокращенному плану $M_{мин} = 0,3 \cdot (15 + M^{0,5}) = 0,3 \cdot (15 + 120^{0,5}) \cong 8$ шт.

При числе каменных стен в группе $M \leq 5$, их проверяют поштучно.

Число и место расположения участков, в которых определяют показатели качества каменных стен, вычисляют так. В каменных стенах, имеющих одно опасное сечение, участки располагают только в этом сечении. В каменных стенах, имеющих несколько опасных сечений, испытываемые участки располагают равномерно по поверхности с обязательным расположением части участков в опасных сечениях.

Проверяемыми геометрическими размерами являются: минимальный размер толщины стены и ее высота. Опасные сечения каменных стен назначают в местах наибольших моментов от действия нормативной нагрузки при испытаниях на огнестойкость.

Размеры стен проверяют с точностью ± 1 мм; ширину трещин – с точностью до 0,05 мм. Проверку прочности кирпича, камней и раствора каменных конструкций, включенных в выборку или проверяемых поштучно, производят неразрушающими испытаниями с применением механических и ультразвуковых приборов [1, с. 31-38].

Пример 2. Определение фактической огнестойкости оштукатуренной каменной перегородки толщиной 150 мм.

1. Уровень ответственности конструкций здания – нормальный, $\gamma_n = 1,0$ (по ФЗ № 384 – 2010 г.).

2. Условия огневого испытания - по ГОСТ 30 247.1 – 94 [4].

3. Нормативная испытательная нагрузка на перегородку $N_p = 0,7 \cdot N_{cc}$ (здесь N_{cc} – несущая способность перегородки, кН); коэффициент надежности по нагрузке $k_f = N_{дл} / N_p = 1,25$ (проект.).

4. Коэффициент условий опирания перегородки на основание $k_{оп} = 0,75$.

5. Отношение периметра поперечного сечения к обогреваемой его части: $P/P_o = 2240/1000 = 2,24$; коэффициент условий обогрева сечения $m_{об} = (P/P_o)^{1,2} = 2,24^{1,2} = 2,63$.

6. Расчетная высота перегородки $l_o = 3600 \times 0,8 = 2880$ мм, толщина сечения $h = h_{кк} + \delta_{шт} = 120 + 30 = 150$ мм; $\delta_{шт} = 2 \times 15 = 30$ мм.

7. Вид кирпича – силикатный ($k_{силик} = 0,8$; $K = 0,8^{0,5} = 0,9$), марка М-100; марка раствора М-50.

8. Расчетное/временное сопротивление сжатия кладки $R/R_u = 1,5/3$ МПа (табл.15 СНиП II-22-81. «Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования»).

9. Упругая характеристика неармированной кладки $\alpha = 750$ (табл. 15 СНиП II-22).

10. Показатель деформативности кладки

$$\xi_k = 0,75 \cdot \alpha \cdot (h/l_o)^2 = 0,75 \cdot 750 \cdot (150/2880)^2 = 1,53.$$

11. Коэффициент продольного изгиба перегородки

$$\phi = \xi_k / (\xi_k + 1) = 1,53 / 2,53 = 0,6.$$

12. Показатели термодиффузии каменной кладки (плотностью 1800 кг/м³) из силикатного полнотелого кирпича $D_{кк} = 24,1$ мм²/мин; $h_{кк} = 120$ мм; цементно-песчаной штукатурки $D_{шт} = 20,1$ мм²/мин; ($\delta_{шт} = 30$ мм; $\gamma_o = 1800$ кг/м³) и приведенный показатель термодиффузии оштукатуренной кладки $D_{кт} = (D_{кк} \cdot h_{кк} + D_{шт} \cdot \delta_{шт}) / (h_{кк} + \delta_{шт}) = (24,1 \cdot 120 + 20,1 \cdot 30) / (120 + 30) = 3495 / 150 = 23,3$ мм²/мин.

13. Интенсивность силовых напряжений в сечении перегородки вычисляют по формуле (3):

$$J_{со} = (\gamma_n / k_f) \cdot (N_g / N_{cc}) = (1/1,25) \cdot 0,7 = 0,56.$$

14. Предел огнестойкости перегородки по потере несущей способности вычисляют по формуле (1):

$$F_{u(R)} = (5 \cdot m_{об} \cdot k_{оп} \cdot \phi \cdot (1 - J_{со})^2 \cdot h_{мин}^2 \cdot k) / (D_{кк}^2 \cdot R_u^{0,25}) = (5 \cdot 2,63 \cdot 0,75 \cdot (1 - 0,56)^2 \cdot 150^2 \cdot 0,9) / (23,3^2 \cdot 3^{0,25}) = 38745 / 714,5 = 54 \text{ мин.}$$

15. Предел огнестойкости перегородки по потере теплоизолирующей способности вычисляют по формуле (2):

$$F_{u(K)} = 3,5 \cdot (h_{мин} / D_{ем})^2 = 3,5 \cdot (150 / 23,3)^2 = 3,5 \cdot 41,45 = 145 \text{ мин.}$$

16. Предел огнестойкости перегородки по потере целостности вычисляют по формуле (6):

$$F_{u(E)} = 0,99 \cdot F_{u(R)} = 0,99 \cdot 54 = 53 \text{ мин.}$$

Резюме: следовательно, минимальный предел огнестойкости оштукатуренной ($\delta_{шт} = 2 \cdot 15 = 30$ мм) перегородки из полнотелого силикатного кирпича ($k_{кк} = 120$ мм) равен $F_{u(RE)} = 48$ мин; или, согласно ст. 35 ФЗ №123-2008, $RE \geq 45$.

Предложенный способ применен при натурном осмотре каменных перегородок реконструируемого после пожара учебного корпуса №2 СГАСУ г. Самары. Результаты неразрушающих испытаний каменных перегородок $h = 120$ мм; $D_{кк} = 20$ мм²/мин; $K_\phi = 0,75$; $J_{со} = 0,35$; $R_u = 3$ МПа - показали пределы огнестойкости: по потере несущей способности и целостности $F_{u(RE)} = 47$ мин; то же, по потере теплоизолирующей способности $F_{u(I)} = 145$ мин; фактический

(минимальный) предел огнестойкости перегородки $F_{u(RE)}=47$ мин (по ФЗ №123-08,- $RE \geq 45$).

Выводы. Использование предложенного способа определения фактической (проектной) огнестойкости каменных стен и перегородок дает *положительный технический результат*, который обеспечивает: **1)** устранение огневых испытаний каменных конструкций в здании или его фрагменте; **2)** снижение трудоемкости определения огнестойкости каменных стен и перегородок; **3)** расширение технологических возможностей определения фактической огнестойкости различно нагруженных каменных стен любых размеров и возможность сопоставления полученных результатов с испытаниями аналогичных конструкций здания; **4)** возможность проведения испытания каменных стен на огнестойкость без нарушения функционального процесса в здании; **5)** снижение экономических затрат на испытание; **6)** сохранение эксплуатационной пригодности здания при обследовании и неразрушающих испытаниях каменных стен; **7)** упрощение условий и сокращение сроков испытания каменных стен на огнестойкость; **8)** повышение точности и экспрессивности испытания; **9)** получение возможности решения обратных задач огнестойкости стен и применение метода подбора переменных значений ее конструктивных параметров; **10)** использование интегральных конструктивных параметров для определения огнестойкости каменных конструкций и упрощение математического описания процесса термического сопротивления нагруженных каменных стен; **11)** повышение достоверности результатов испытаний группы однотипных каменных стен; **12)** учет реального ресурса каменных стен на предел огнестойкости использованием комплекса единичных показателей их качеств; **13)** уточнение единичных показателей качества неармированных каменных стен, влияющих на их огнестойкость; **14)** возможность определения гарантированного предела огнестойкости каменных стен по конструктивным параметрам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ильин, Н.А. Последствия огневого воздействия на железобетонные конструкции [Текст] / Н.А. Ильин. – М.: Стройиздат, 1979. – 128 с. (С. 16; 34-35).
2. ГОСТ Р 53 309-2009. Здания и фрагменты зданий. Метод натуральных огневых испытаний. Общие требования [Текст]. – М., 2009.
3. Бушев, В.П. Огнестойкость зданий [Текст] / В.П. Бушев, В.А. Пчелинцев, В.С. Федоренко, А.И. Яковлев. – М.: Стройиздат, 1970. – 261 с. (С. 252-256).
4. ГОСТ 30247.1-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции [Текст]. – М., 1994.
5. Патент №2 347 215 RU, МПК G 01 N 25/50 Способ определения огнестойкости каменных стен здания [Текст] / Н.А. Ильин, А.И. Битюцкий, А.П. Шепелев; заявка СГАСУ от 23.07.07; опублик. 20.02.2009. Бюл. №5.

© Ильин Н.А., Битюцкий А.И.,
Шепелев А.П., Фролова Е.И.,
Эсмонт С.В., 2012