НИИЖБ Госстроя СССР

Рекомендации

по защите бетонных и железобетонных конструкций от хрупкого разрушения при пожаре



Москва 1979

gost.e-ecolog.ru

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА (НИИЖБ)
ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ЗАЩИТЕ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ

МОСКВА СТРОЙИЗДАТ 1979

УДК 691.32:699.81

Рекомендованы к изданию решением секции теории бетона и железобетона Ученого совета НИИЖБ Госстроя СССР.

Рекомендации по защите бетонных и железобетонных конструкций от хрупкого разрушения при пожаре /НИИ бетона и железобетона. — М.: Стройиздат, 1979. — 21 с.

Рекомендации содержат основные положения по защите бетонных и железобетонных конструкций от хрупкого разрушения при пожаре. Рассмотрены причины этого вида разрушения, методы оценки хрупкости бетона при нагреве; приведена методика проверки возможности хрупкого разрушения бетона, бетонных и железобетонных конструкций при пожаре, а также технологические и конструктивные мероприятия по их защите от хрупкого разрушения.

Предназначены для инженерно-технических работников проектных и научно-исследовательских организаций.
Табл 7, ил. 5.

Р $\frac{30213-425}{047(01)-79}$ Инструкт.-нормат., 1 вып.—49—79. 3202000000

© Стройиздат, 1979

ПРЕДИСЛОВИЕ

В последние годы при пожарах все чаще наблюдается хрупкое разрушение бетона в бетонных и железобетонных конструкциях. Объясняется это тем, что в строительстве шире стали применяться конструкции из бетонов повышенной прочности или прошедших тепловлажностную обработку, с тонкостенными и предварительно напряженными элементами.

В связи с этим в нашей стране (в НИИЖБ, ВНИИПО, НИПИсиликатобетон, ВНИИстром, МИСИ) и за рубежом были проведены значительные экспериментальные и теоретические исследования по изучению хрупкого разрушения бетона при пожаре.

Рекомендации разработаны на основании результатов этих исследований НИИЖБ Госстроя СССР (доктором техн. наук профессором К. Д. Некрасовым, канд. техн. наук В. В. Жуковым и инж. В. Ф. Гуляевой).

Целью настоящей работы является оказание помощи специалистам при разработке новых видов бетонных и железобетонных конструкций, в которых возможность хрупкого разрушения бетона при пожаре была бы уменьшена или исключена. Рекомендации могут быть использованы также для анализа причин хрупкого разрушения бетона при огневых испытаниях и при пожаре.

Замечания и предложения просьба направлять по адресу: Москва, 109389, 2-я Институтская, д. 6, НИИЖБ.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. При пожаре в зданиях и сооружениях, в которых применяются бетонные и железобетонные конструкции, возможно хрупкое разрушение бетона. Разрушение бетона происходит внезапно, быстро и поэтому является наиболее опасным.

1.2. Хрупкое разрушение бетона начинается, как правило, через 5—20 мин от начала огневого воздействия и проявляется как откол от нагреваемой поверхности конструкции кусков бетона в виде лещадок площадью примерно от 1 см^2 до 0,5—1 м^2 и толщиной от 1 мм до 5 см. Разрушение бетона может продолжаться в течение всего огневого воздействия до полного разрушения конструкции.

Хрупкое разрушение бетона может сопровождаться звуковым эффектом в виде легкого хлопка, треска различной интенсивности или «взрыва». При хрупком разрушении бетона возможен разлет кусков весом до нескольких килограммов на расстояние до 10—20 м.

1.3. Хрупкое разрушение бетона при пожаре может очень быстро привести к разрушению бетонных или железобетонных конструкций. В этом случае предел огнестойкости конструкций может оказаться значительно ниже требуемого вследствие уменьшения размера бетонного сечения конструкции, уменьшения толщины или полной ликвидации защитного слоя рабочей арматуры, а также образования сквозного отверстия.

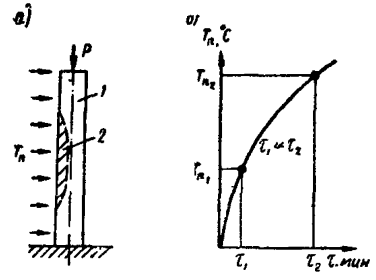

Рис. 1. Влияние хрупкого разрушения бетона на предел огнестойкости несущей железобетонной панели при одностороннем воздействии огня

а — схема панели с нагрузкой (*P*); *б* — график зависимости температуры внутри помещения ($T_п$ при пожаре от времени (τ); *1* — панель; *2* — отколовшийся кусок бетона; τ_1 — предел огнестойкости панели при хрупком разрушении бетона; τ_2 — то же, без хрупкого разрушения бетона; $T_{п_1}$ — температура в помещении в момент τ_1; $T_{п_2}$ — то же в момент τ_2

Уменьшение размера поперечного сечения несущей вертикальную нагрузку колонны или панели при их одностороннем нагреве приводит к увеличению напряжений в оставшейся части сечения как за счет снижения величины ее площади, так и за счет появления дополнительного изгибающего момента (рис. 1).

Уменьшение толщины или откол защитного слоя несущей арматуры в железобетонных балках приводит к быстрому прогреву этой арматуры до критической температуры (500—700° С) и разрушению конструкции (рис. 2).

Уменьшение толщины ограждающей конструкции приводит к резкому увеличению температуры ее ненагреваемой поверхности до критической (180—220° С) и в результате — к достижению предела огнестойкости конструкции.

Вследствие хрупкого разрушения бетона в ограждающей конструкции сразу или через некоторое время может появиться сквозное отверстие и конструкция не будет являться преградой распространению огня из одного помещения в другое (рис. 3). При появлении сквозного отверстия в конструкции достигается предел ее огнестойкости.

1.4. При пожаре очень часто начало хрупкого разрушения бетона не совпадает с разрушением всей конструкции, происходящим значительно позже. В ряде случаев, несмотря на хрупкое разрушение бетона, конструкция еще длительное время может сопротивляться воздействию огня. При этом предел ее огнестойкости может быть вполне достаточным и удовлетворять требованиям нормативных документов.

При оценке последствий хрупкого разрушения бетона при пожаре и влияния его на предел огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций необходимо в каждом конкретном случае рассматривать возможность разрушения и предел огнестойкости каждой отдельной конструкции.

1.5. Хрупкое разрушение бетона при пожаре наиболее опасно для несущих конструкций, особенно для конструкций с небольшим поперечным сечением, воспринимающих большие нагрузки. Их преждевременное разрушение может вызвать обрушение других конструкций или здания (сооружения) в целом. Особое внимание следует обратить на возможность хруп-

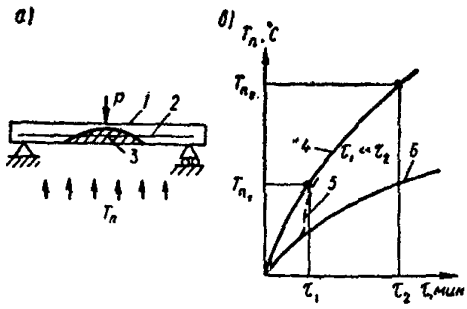

Рис. 2. Влияние хрупкого разрушения бетона на предел огнестойкости несущей железобетонной балки

а — схема балки; *б* — график зависимости температуры внутри помещения и температуры рабочей арматуры от времени: *1* — балка; *2* — рабочая арматура; *3* — отколовшийся кусок бетона; *4* — зависимость температуры внутри помещения от времени; *5* — то же, арматуры при хрупком разрушении бетона; *6* — то же, арматуры без хрупкого разрушения бетона

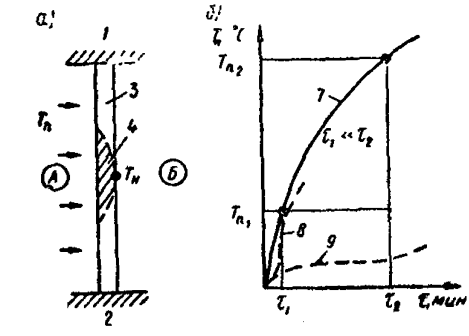

Рис. 3. Влияние хрупкого разрушения бетона на предел огнестойкости ограждающей железобетонной конструкции

а — схема ограждающей конструкции; *б* — график зависимости температуры внутри помещения *А*, где произошел пожар, от времени; *1* — потолок (перекрытие); *2* — пол; *3* — ограждающая конструкция; *4* — отколовшийся кусок бетона; *А*, *Б* — помещения, которые разделяет конструкция; *7* — зависимость температуры внутри помещения *А* от времени; *8* — то же, при хрупком разрушении бетона; *9* — то же, на поверхности ограждающей конструкции со стороны помещения *Б*, когда нет хрупкого разрушения бетона

кого разрушения бетона несущих колонн и панелей нижних этажей и подвалов многоэтажных зданий.

1.6. Причиной хрупкого разрушения бетона при пожаре является переход уже существующих до нагрева или вновь образовавшихся при нагреве трещин в структуре бетона из равновесного

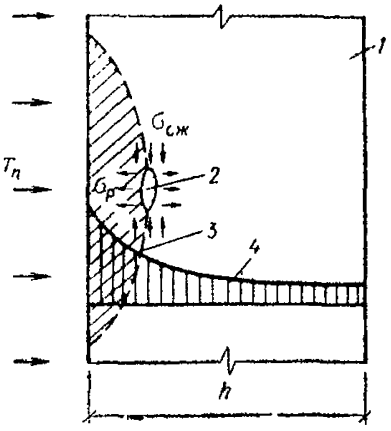

Рис. 4. Схема распределения напряжений у трещины, вызывающей откол бетона при его хрупком разрушении

1 — поперечное сечение бетонного элемента; *2* — трещина; *3* — траектория движения трещины; *4* — эпюра температур; $\sigma_р$ — растягивающие напряжения от фильтрации пара; $\sigma_{сж}$ — сжимающие напряжения от неравномерного распределения температуры по толщине сечения элемента и от внешней нагрузки; *h* — толщина элемента

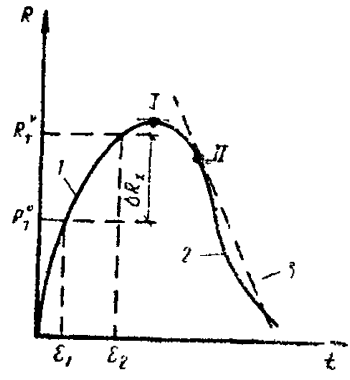

Рис. 5. Диаграмма состояния бетона

$R_т^у$ — относительные напряжения *в начале образования новых трещин*; $R_т^у$ — относительные напряжения в начале развития магистральных трещин; *I* — точка максимальных напряжений; *II* — точка неустойчивого состояния бетона; *1* — восходящая ветвь диаграммы состояния бетона; *2* — то же, нисходящая; *3* — деформация ребер или элементов заделки тонкостенной конструкции после перехода бетоном точки максимальных напряжений; ε_1 — относительные деформации в момент появления новых трещин; ε_2 — то же, в начале развития магистральных трещин εR — относительные напряжения; — относительные деформации;

состояния в неравновесное и спонтанное их развитие (рис. 4) под действием напряжений.

1.7. Хрупкость бетона характеризуется величиной $\Delta R_у$ (рис. 5), равной разности относительных напряжений в параметрических точках О. Я. Берга * на диаграмме состояния бетона

$$\Delta R_х = R_т^у - R_т^о, \qquad (1)$$

---

* **Берг О. Я.** Физические основы теории прочности бетона и железобетона. М., Госстройиздат, 1962.

Гвоздев А. А. Структура бетона и некоторые особенности его механических свойств. — В кн.: Прочность, структура, изменения и деформации бетона. М., Стройиздат, 1978.

где ΔR_x — характеристика хрупкости бетона;

$R_т^0$ — относительное напряжение в начале образования новых трещин;

$R_т^v$ — относительное напряжение в начале развития магистральных трещин.

Чем меньше величина ΔR_x, тем больше опасность хрупкого разрушения бетона при пожаре. Следовательно, чем раньше в бетоне появляются новые трещины (т. е. чем меньше величина $R_т^0$), тем бетон менее хрупок.

Наиболее хрупкой составляющей бетона является цементный камень. Мелкий и крупный заполнители делают бетон менее хрупким, так как способствуют появлению мелких трещин на стадии изготовления, транспортирования и хранения конструкций и препятствуют развитию крупных магистральных трещин при загружении внешней нагрузкой (включая и собственный вес конструкции) и нагреве.

1.8. При анализе хрупкого разрушения бетона при пожаре можно использовать основные положения механики хрупкого разрушения. В этом случае характеристикой бетона при его хрупком разрушении является коэффициент псевдоинтенсивности напряжений в устье трещины (K_1') равный

$$K_1' = K_1 + b, \qquad (2)$$

где K_1 — коэффициент интенсивности напряжений однородного материала, $Мн \cdot м^{-3/2}$;

K_1' — коэффициент псевдоинтенсивности напряжений неоднородного материала, $Мн \cdot м^{-3/2}$;

b — положительная функция, учитывающая влияние заполнителей в бетоне на развитие трещины (аналогично влиянию зоны пластичности в пластичных материалах), $Мн \cdot м^{-3/2}$.

Чем больше значение K_1', тем материал лучше сопротивляется развитию в нем трещин.

Для экспериментального определения величины K_1' можно пользоваться существующей методикой *.

Коэффициент псевдоинтенсивности напряжений (K_1') пропорционален характеристике хрупкости бетона (ΔR_x); оба эти показателя связаны с эффективной поверхностной энергией и вязкостью разрушения бетона. Эти параметры являются характеристиками, оценивающими сопротивление бетона (как материала) хрупкому разрушению.

1.9. Хрупкое разрушение бетона является также следствием действия на него напряжений, вызванных нагревом и внешней нагрузкой и приводящих к переходу трещины из равновесного в неравновесное состояние.

---

* **Черепанов Г. П.** Механика хрупкого разрушения. Изд. «Наука», М., 1974 (с. 192, табл. 4.1, п. 4);

Kiyoshi Okada and Wataru Koyanagi. Effect of aggregate on the fracture process of concrete. Proc. Int. Conf. Mech. Behav. Mater. Kyoto, 1972, vol. 4, p. 72—83.

При пожаре наибольшее влияние на хрупкое разрушение бетона оказывают: собственные температурные напряжения от градиента температуры по сечению элемента; напряжения от статической неопределимости конструкций, от внешней нагрузки и от фильтрации пара через структуру бетона.

1.10. Хрупкому разрушению бетона при пожаре может способствовать раскол при нагреве крупных заполнителей.

При анализе причин разрушения бетона и подборе состава бетона, который бы не разрушался при пожаре, необходимо проверить возможность разрушения крупного заполнителя по методике, приведенной в прил. 1.

1.11. Хрупкое разрушение тонкостенных элементов железобетонных конструкций при нагреве может произойти вследствие потери устойчивости, которая связана с наличием в диаграмме состояния бетона падающей ветви. Эта потеря устойчивости происходит при жестких ребрах или элементах заделки, окружающих тонкостенный элемент, а также при местном нагреве тонкостенной конструкции, когда ненагретые участки играют роль жесткой обоймы.

Такой особый вид потери устойчивости в характерной точке *II* на диаграмме состояния бетона (см. рис. 5) известен из литературы *. Как правило, он сопровождается быстро протекающим хрупким разрушением материала с характерным сильным звуком, часто напоминающим взрыв.

Для предотвращения при пожаре хрупкого разрушения бетона тонкостенных конструкций необходимо ограничивать их толщину в соответствии с указаниями третьего раздела настоящих Рекомендаций.

1.12. Хрупкое разрушение бетона при пожаре зависит от структуры бетона, его состава, влажности, температуры, граничных условий конструкции и внешней нагрузки, т. е. оно зависит как от материала (бетона), так и от вида бетонной или железобетонной конструкции.

1.13. Необходимо контролировать возможность хрупкого разрушения бетона при пожаре и влияние его на предел огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций, предусматривать в случае необходимости меры по борьбе с хрупким разрушением бетона и конструкции в целом.

Опасность хрупкого разрушения бетона практически может быть сведена к минимуму при выполнении специальных мероприятий.

2. ОБЩАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА ПРИ ПОЖАРЕ

2.1. При разработке новых составов бетонов или усовершенствовании уже существующих необходимо оценить возможность хрупкого разрушения бетона при пожаре.

2.2. Возможность хрупкого разрушения бетона при пожаре для бетонов нормального твердения оценивается по величине кри-

---

* **Dougill T. W.** The relevance of the established method of structural fire testing to reinforced concrete. Applied materials research. October. 1966, p. 235—239.

терия хрупкого разрушения (F), который определяется по формуле

$$F = a \frac{\alpha_{бt} E_{бt} \cdot \rho}{K_1' \lambda \Pi} W_0^э, \qquad (3)$$

где $\alpha_{бt}$ — коэффициент линейной температурной деформации бетона, 1/град;

$E_{бt}$ — модуль упругости нагретого бетона, Мн/м²;

ρ — плотность бетона в сухом состоянии, кг/м³;

a — коэффициент пропорциональности, равный $1{,}16 \cdot 10^{-2}$ Вт·м$^{5/2}$/кг;

K_1' — коэффициент псевдоинтенсивности напряжений неоднородного материала, Мн·м$^{-3/2}$;

Π — общая пористость, м³/м³;

λ — коэффициент теплопроводности бетона, Вт/(м·град);

$W_0^э$ — объемная эксплуатационная влажность бетона, м³/м³.

Значения коэффициентов $\alpha_{бt}$, $E_{бt}\rho$, λ определяют по таблицам прил. 2 для средней температуры бетона 200—300° С.

Коэффициент псевдоинтенсивности напряжений (K_1') принимают по данным табл. 1 в зависимости от вида и количества заполнителей (для бетона на портландцементе).

Таблица 1

Вид заполнителей	Количество крупного заполнителя, %	Значения K_1' для бетонов нормального твердения, Мн·м$^{-3/2}$
Природный песок и гранитный щебень	50 и более	0,53
	20 и менее	0,42
Природный песок и керамзитовый заполнитель		0,31
Природный песок и известняковый щебень	50 и более	0,44
	20 и менее	0,35

Примечания: 1. В таблице приведены значения K_1' для бетонов с наибольшей крупностью заполнителя 10 мм. При крупности заполнителя более 10 мм значения K_1' следует умножать на 1,14.

2. Приведены данные для бетона нормального твердения. Для бетона тепловлажностной обработки значения K_1' следует уменьшать в 1,4 раза.

3. Значения K_1' для составов с расходом заполнителя $<50\%$ и >20 % принимаются по линейной интерполяции.

2.3. Эксплуатационная объемная влажность бетона ($W_0^э$) с плотными заполнителями определяется как его средняя равновесная влажность по формуле

$$W_0^э = W_в \rho \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

где $W_в$ — равновесная влажность бетона по массе, кг/кг;

ρ — плотность бетона в сухом состоянии, кг/м³.

Влажность бетона по массе ($W_в$) принимается по табл. 2 в зависимости от относительной расчетной влажности воздуха (φ) при которой будет эксплуатироваться рассматриваемая конструкция, и от расхода цемента.

Таблица 2

Расход цемента на 1 м³ бетона, кг	Весовая влажность бетона $W_в$ 10^2, кг/кг			
	относительная расчетная влажность воздуха φ, %			
	15	25	50	75
200	0,5	0,6	0,9	1,2
300	0,9	1	1,3	2,5
400	1,2	1,5	2,1	3
500	1,5	2	2,7	3,8
700	2,1	3	3,9	5,4

Примечание. Промежуточные значения $W_в$ принимаются по линейной интерполяции.

При применении пористых заполнителей влажность бетона следует увеличить на величину

$$W_0^з = V_з W_в^з \rho \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где $W_0^з$ — часть эксплуатационной объемной влажности бетона, обусловленная наличием в нем крупного пористого заполнителя, м³/м³;

$V_з$ — относительный объем заполнителя в бетоне;

$W_в^з$ — равновесная влажность заполнителей по массе, кг/кг;

ρ — плотность бетона в сухом состоянии, кг/м³.

Для обычно применяемого керамзита среднюю величину влажности заполнителя по массе ($W_в^з$) можно принимать в зависимости от расчетной влажности воздуха (φ) помещения, где будут эксплуатироваться бетонные или железобетонные конструкции:

φ, %	
15	0,006
25	0,0075
50	0,012
75	0,015
100	0,028

2.4. Относительная расчетная влажность воздуха (φ) в помещениях жилых зданий можно принимать 75%.

Относительная расчетная влажность воздуха в помещениях промышленных зданий принимается:

Влажность воздуха в помещении	
60—90%	75%
30—60%	45%
10—30%	15%

2.5. По значению величины F устанавливают возможность хрупкого разрушения бетона при пожаре.

При $F \leqslant 4$ бетон не будет разрушаться. Никаких дополнительных проверок или мероприятий по защите конструкций из него не требуется.

При $F > 4$, < 6 бетон может разрушаться в конструкциях, имеющих напряжения сжатия от длительной нормативной нагрузки в крайнем сжатом волокне бетона или в элементах толщиной менее 4 см. Необходима дальнейшая проверка возможности хрупкого разрушения бетона в конструкции в соответствии с разд. 3 настоящих Рекомендаций.

При $F \geqslant 6$ бетон будет разрушаться. Необходимо применение специальных мероприятий в соответствии с разд. 4 настоящих Рекомендаций.

2.6. Вывод о возможности хрупкого разрушения бетона при пожаре в несущих конструкциях можно сделать также на основании средних величин критической влажности бетонов по массе ($W_в^{кр}$) равной:

для тяжелого бетона с крупным заполнителем из гранита	3%
для тяжелого бетона с крупным заполнителем из карбонатных пород	4%
для легкого конструктивного бетона с крупным пористым заполнителем	5%
для тяжелых силикатных бетонов	2%
приготовленных по „кетелочной" технологической схеме	

Если эксплуатационная влажность бетона ($W_0^э$) будет меньше критической влажности бетона по массе, умноженной на плотность бетона, т. е. $W_0^э < W_в^{кр} \rho \cdot 10^{-3}$, то бетон не будет хрупко разрушаться.

3. ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОСТИ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА В КОНСТРУКЦИИ ПРИ ПОЖАРЕ

3.1. Бетон, имеющий значения F больше 4 или меньше 6, проверяют на возможность его хрупкого разрушения в конструкции при пожаре, если в процессе эксплуатации от длительной нормативной нагрузки в этой конструкции имеются сжимающие напряжения в крайнем волокне бетона со стороны возможного огневого воздействия.

3.2. Методика оценки возможности хрупкого разрушения бетона в конструкции.

1. От длительной нормативной нагрузки определяют величину сжимающих напряжений ($\sigma_{сж}$) в крайнем сжатом волокне бетона, которое при пожаре может подвергнуться воздействию огня.

2. Вычисляют значение объемной критической влажности бетона $W_0^{кр}$ по формуле

$$W_0^{кр} = \frac{cR_р^н П}{\lambda\left(1 + 0{,}15\,\frac{\sigma_{сж}}{R_р^н}\right)}, \qquad (6)$$

где c — коэффициент пропорциональности, равный 0,58 Вт·м/(Мн·град);

$П$ — общая пористость бетона, м³/м³;

$R_р^н$ — нормативное сопротивление бетона осевому растяжению, Мн/м²;

λ — коэффициент теплопроводности бетона, Вт/(м·град);

$\sigma_{сж}$ — сжимающее расчетное напряжение от длительной нормативной нагрузки на поверхности конструкции, которая при пожаре может подвергнуться воздействию огня, Мн/м².

Для бетонов, прошедших тепловлажностную обработку, полученную величину $W_0^{кр}$ следует уменьшить в 1,4 раза.

3. Величину $W_0^{кр}$ сравнивают с величиной объемной эксплуатационной влажности $W_0^э$, определяемой в соответствии с п. 2.3. настоящих Рекомендаций.

4. Если $W_0^э > W_0^{кр}$, то бетон в конструкции будет хрупко разрушаться при пожаре. Необходимо применить специальные мероприятия для защиты бетона от хрупкого разрушения в соответствии с разд. 4 настоящих Рекомендаций или снизить сжимающие напряжения в бетоне до величины $\sigma_{сж}\, n$.

Значения коэффициента n в зависимости от относительных сжимающих напряжений в крайнем волокне бетона приведены ниже.

Относительные напряжения:

0	1
0,1	0,95
0,3	0,85
0,5	0,8
0,7	0,7
0,9	0,65

Если $W_0^э < W_0^{кр}$, то бетон данной конструкции не будет разрушаться при пожаре.

3.3. Для оценки хрупкого разрушения бетона в несущих конструкциях при пожаре можно также использовать средние значения критической весовой влажности бетона, как указано в п. 2.5 настоящих Рекомендаций. При этом величину критической весовой влажности бетона следует умножить на соответствующее значение

коэффициента n в зависимости от относительных сжимающих напряжений (при длительной нормативной нагрузке) в крайнем волокне бетона, которое может быть подвергнуто воздействию огня.

3.4. Если бетон имеет значения F больше 4 или меньше 6, то минимальная толщина элементов конструкции принимается в зависимости от относительных сжимающих напряжений.

Минимальная толщина элементов приведена ниже.

Относительные сжимающие напряжения $\left(\frac{\sigma_{сж}}{R^{н}_{пр}}\right)$	
0	4 см
0,2	5 »
0,4	6 »
0,6	7 »
0,8	8 »
0,9	9 »

4. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ

4.1. Мероприятия по защите бетонных и железобетонных конструкций от хрупкого разрушения при пожаре подразделяют на 3 группы:

I — ликвидирующие хрупкое разрушение бетона при пожаре;

II — снижающие вероятность хрупкого разрушения;

III — профилактические.

4.2. К I группе мероприятий относятся:

1) противопожарные мероприятия в виде водяных завес, спринклерных и других устройств, обеспечивающих защиту бетонных и железобетонных конструкций от воздействия огня;

2) снижение влажности в помещении до величины, при которой в случае пожара хрупкого разрушения бетона не произойдет;

3) установка в поверхностном нагреваемом слое конструкции проволочной сетки с ячейками размером 3—15 мм и диаметром проволоки 0,7—1 мм;

4) нанесение теплоизоляционной штукатурки толщиной 1—2 см из легкого бетона по поверхности конструкции *;

5) применение жаростойких бетонов с шамотным заполнителем;

6) дисперсное армирование бетона у нагреваемой поверхности конструкции на глубину 1—2 см асбестом, стекловолокном или металлическим волокном (5—7% от массы вяжущего).

Эти мероприятия необходимы при использовании бетонов с $F \geqslant 6$, а также бетонов с F больше 4 и меньше 6.

При проведении мероприятий первой группы можно не проводить контрольных огневых испытаний.

---

* Руководство по выполнению огнезащитных и теплоизоляционных штукатурок механизированным способом ЦНИИОМТП. М., Стройиздат, 1977.

4.3. К II группе мероприятий относятся:

1) установка в балках или плитах (в защитном слое) арматурной сетки с ячейками 10×10 см из арматуры диаметром 3 мм на расстоянии от нагреваемой поверхности не более 0,5—1 см;

2) применение в поверхностном нагреваемом слое бетона полимерной добавки в количестве 5—10% массы вяжущего;

3) применение крупных заполнителей с низкими коэффициентами линейного температурного расширения (известняка, базальта, диабаза, доменного шлака вместо гранита);

4) замена части (не менее $^1/_3$) или полностью природного песка песком из известняка, базальта, диабаза, сиенита или диорита;

5) использование составов бетонов с ограниченным расходом вяжущего (портландцемента не более 400 кг на 1 м^3 бетонной смеси) и повышенными значениями *В/Ц* отношения (не менее 0,5);

6) использование бетонов с легкими заполнителями;

7) поризация цементного камня;

8) применение шлакопортландцемента;

9) использование тонкомолотых добавок из доменных и литых шлаков.

Эти мероприятия применяются для бетонов с *F* меньше 4 и больше 6, но их полная эффективность пока еще требует выборочной проверки огневыми испытаниями. Эти испытания проводятся с целью проверки соответствия предела огнестойкости конструкций требованиям СНиП II-А.5-70* «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений».

4.4. К III группе мероприятий относятся:

1) применение в железобетонных конструкциях арматуры той же площади, но из стержней меньшего диаметра;

2) применение поперечных сечений конструкций без выступающих углов (например, колонн круглого поперечного сечения или со срезанными углами вместо колонн прямоугольного или квадратного поперечного сечения).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

МЕТОДИКА ПРОВЕРКИ ВОЗМОЖНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ БЕТОНА

1. От партии крупного заполнителя, применяемого для изготовления бетонной смеси, отбирают пробу весом 4 кг.

2. Высыпав пробу на ровную поверхность, делят ее на 4 равные части.

3. Отобранную часть пробы ($\approx$1 кг) помещают в сосуд с водопроводной водой так, чтобы весь заполнитель был покрыт водой. Выдерживают не менее суток.

4. Заполнитель извлекают из сосуда с водой, поверхность каждого куска заполнителя промокают материей.

5. От общего количества пробы отбирают три наиболее крупных куска, замеряют их длину и ширину.

6. В разогретую до температуры 800° С печь помещают крупный заполнитель и в течение 30—60 мин проводят наблюдение. При этом три отобранных крупных куска помещают в печь отдельно от остальной массы заполнителя.

7. В процессе испытания в журнале наблюдений регистрируют появление треска, хлопков, «взрывов», запахов.

8. Через 30—60 мин заполнитель извлекают из печи, осматривают, замеряют длину и ширину трех наиболее крупных кусков заполнителя.

9. При осмотре заполнителя в журнале регистрируют раскол отдельных кусков, изменение их цвета и формы поверхности.

10. На основании результатов проведенных испытаний можно сделать выводы:

а) если нагревание заполнителя не сопровождалось треском, хлопками, «взрывами», не отмечалось появления запахов, а при осмотре и замерах отдельных кусков заполнителя не наблюдалось изменения их величины и формы, то заполнитель пригоден для применения в любых видах бетонных и железобетонных конструкций;

б) если нагревание заполнителя сопровождалось звуковыми эффектами, а при осмотре отмечались его расколы, то такой заполнитель в бетонных и железобетонных конструкциях применять не рекомендуется;

в) если при нагревании из заполнителя выделялись газы, особенно газы, имеющие запах, необходимо сделать химический анализ этих газов на предмет их токсичности. Кроме того, выделяющиеся из заполнителя газы могут служить причиной откола небольших кусков от поверхности бетонной или железобетонной конструкции. В этом случае отколовшиеся куски, как правило, имеют форму конуса, у основания которого находится разрушившийся заполнитель;

г) если заполнитель при нагревании изменил только цвет, это является основанием для его повторного испытания.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНОВ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА ПРИ ПОЖАРЕ

1. **Коэффициент линейной температурной деформации** ($\alpha_{бt}$) бетона нормального твердения в зависимости от вида и содержания в нем крупного заполнителя приведен в табл. 1.

Таблица 1

Значения $\alpha_{бt}\,10^6$, 1/град

Вид заполнителя	Содержание крупного заполнителя в бетоне, %		
	40	60	80
Природный песок и гранитный щебень	9,2	9,3	9,5
Природный песок и известняковый щебень	6,2	5,2	4,4
Известняковый песок и щебень	4,7	4,3	4
Природный песок и крупный керамзитовый заполнитель	8	7,6	7,2

Примечание. Для бетона тепловлажностной обработки значения $\alpha_{бt}$ увеличиваются в 1,1 раза.

2. **Модуль упругости нагретого до 200—300° бетона** в зависимости от проектной марки бетона на сжатие приведен в табл. 2.

Таблица 2

Значения $E_{бt}\,10^{-4}$, Мн/м²

Бетон	Проектная марка бетона							
	М100	М200	М300	М400	М500	М600	М700	М800
Тяжелый	1	1,4	1,7	2	2,2	2,3	2,3	2,4
На пористых заполнителях с плотностью, кг/м³ 10^{-3}:								
1,4	0,6	0,7	0,8	—	—	—	—	—
1,8	0,7	0,9	1,1	1,2	—	—	—	—
2,2	—	1,1	1,3	1,4	—	—	—	—

Примечание. Для бетона тепловлажностной обработки при атмосферном давлении значения $E_{бt}$ умножаются на 0,9, а для бетона автоклавной обработки — на 0,77.

3. **Коэффициент теплопроводности бетона** (λ) для средней температуры 200—300° С в зависимости от вида и содержания крупного заполнителя приведен в табл. 3.

Таблица 3

Значения λ, Вт/(м·град)

Вид заполнителя	Содержание крупного заполнителя в бетоне, %	
	40	60
Природный песок и гранитный щебень	1,9	2,3
Природный песок и известняковый щебень	1,3	2
Известняковый песок и щебень .	0,9	1,4
Природный песок и крупный керамзитовый заполнитель	0,4	0,3

4. **Нормативные сопротивления бетона** ($R^{н}_{р}$ и $R^{н}_{пр}$) при проектной марке бетона по прочности на сжатие приведены в табл. 4.

Таблица 4

Значения $R^{н}_{р}$ и $R^{н}_{пр}$, Мн/м²

Вид сопротивления	Бетон	Проектная марка бетона							
		М100	М200	М300	М400	М500	М600	М700	М800
$R^{н}_{р}$	Тяжелый	0,72	1,15	1,5	1,8	2	2,2	2,3	2,5
	На пористых заполнителях	0,72	1,1	1,3	1,45	—	—	—	—
$R^{н}_{пр}$	Тяжелый	6	11,5	17	22,5	28	34	39	45
	На пористых заполнителях	6	11,5	17	22,5	—	—	—	—

5. **Общая пористость бетона** $П$ с плотным заполнителем в зависимости от $В/Ц$ и расхода цемента приведена в табл. 5.

Таблица 5

Значение $П$, м³/м³

Водоцементное отношение ($В/Ц$)	Расход цемента ($Ц$), кг/м³		
	300	400	500
0,3	0,07	0,1	0,12
0,5	0,09	0,12	0,15
0,7	0,16	0,20	0,25

Примечание. Для бетона с пористым заполнителем общая пористость $П'$ увеличивается на величину пористости заполнителя $П_з$, умноженную на относительное объемное содержание заполнителя в бетоне, т. е. в этом случае

$$П' = П + V_з П_з. \tag{7}$$

Общую пористость бетона $П$ с плотным заполнителем можно также определить по формулам:

для $В/Ц \geqslant 0{,}4$

$$П = Ц(В/Ц - 0{,}2)\,10^{-3}; \tag{8}$$

для $В/Ц < 0{,}4$

$$П = В/Ц\,Ц \cdot 0{,}8 \cdot 10^{-3}, \tag{9}$$

где $П'$ — общая пористость бетона с пористым заполнителем;

$V_з$ — относительное объемное содержание заполнителя в бетоне;

$П_з$ — общая пористость заполнителя.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ПРИМЕРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА ПРИ ПОЖАРЕ

Пример 1

Конструкция выполнена из тяжелого бетона нормального твердения с кварцевым песком и крупным заполнителем из гранита; расход цемента $Ц=350$ кг/м^3, М400; $\rho=2200$ кг/м^3.

Следует определить, будет ли этот вид бетона хрупко разрушаться при пожаре в ограждающих ненесущих конструкциях жилых помещений с влажностью воздуха $\varphi=75\%$.

1. Находим значение критерия хрупкого разрушения по формуле (3). По таблицам прил. 2 определяем: $П=0{,}11$ м^3/м^3; $\alpha_{бt}=9{,}2\cdot10^{-6}$ 1/град; $E_{бt}=2\cdot10^4$ Мн/м^2; $\lambda=2{,}1$ Вт/(м·град).

2. По табл. 1 определяем: $K_1'=0{,}53$ Мн·м$^{-3/2}$; по табл. 2 — $W_в=0{,}025$ кг/кг.

3. Находим $W_0^э=W_в\rho\cdot10^{-3}=0{,}025\cdot2200\cdot10^{-3}=0{,}055$ м^3/м^3.

4. Вычисляем значение:

$$F=\frac{1{,}16\cdot10^{-2}\cdot9{,}2\cdot10^{-6}\cdot2\cdot10^4\cdot2200\cdot0{,}055}{0{,}11\cdot0{,}53\cdot2{,}1}=2{,}1.$$

По данным п. 2.5. такой вид бетона не будет хрупко разрушаться при пожаре и может в данных условиях применяться в любых конструкциях.

Пример 2

Конструкция выполнена из тяжелого бетона нормального твердения с кварцевым песком и крупным заполнителем из гранита; расход цемента $Ц=500$ кг/м^3, М700, $\rho=2400$ кг/м^3.

Следует определить, будет ли этот вид бетона хрупко разрушаться при пожаре в промышленных зданиях с влажностью воздуха в помещении $\varphi=80\%$ и сжимающих напряжениях на поверхности конструкции, которая может подвергнуться воздействию пожара, равных 15 Мн/м^2.

1. Находим значение относительной расчетной влажности помещения (п. 2.4.) 75%. По табл. 2 определяем влажность бетона по массе для данных условий окружающей среды, $W_в=0{,}038$ кг/кг.

2. По таблицам прил. 2 определяем: $П=0{,}15$; $\alpha_{бt}=9{,}1\cdot10^{-6}$ 1/град; $E_{бt}=2{,}3\cdot10^4$ Мн/м^2; $\lambda=1{,}6$ Вт/(м·град); $R_р^н=2{,}35$ Мн/м^2.

3. Из табл. 1 находим: $K_1'=0{,}46$ Мн·м$^{-3/2}$; $W_0^э=W_в\rho\cdot10^{-3}=0{,}038\cdot2400\cdot10^{-3}=0{,}09$ м^3/м^3.

4. Определяем величину F по формуле (3):

$$F=\frac{1{,}16\cdot10^{-2}\cdot9{,}1\cdot10^{-6}\cdot2{,}3\cdot10^4\cdot2400\cdot0{,}09}{0{,}15\cdot0{,}46\cdot1{,}6}=4{,}75.$$

5. По данным п. 2.5. настоящих Рекомендаций такой вид бетона необходимо дополнительно проверить на возможность его хрупкого разрушения в условиях воздействия пожара и внешней нагрузки в соответствии с положениями разд. 3 настоящих Рекомендаций.

Для этой цели находим по формуле (6) величину критической влажности бетона

$$W_0^{кр} = \frac{0{,}58 \cdot 2{,}35 \cdot 0{,}15}{1{,}6(1+0{,}15 \cdot 15/2{,}35)} = 0{,}066 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Сравниваем $W_0^э$ с $W_0^{кр}$ и приходим к выводу, что $W_0^э > W_0^{кр}$.

6. Следовательно, необходимо уменьшить расчетные сжимающие напряжения на нагреваемой поверхности конструкции в соответствии с рекомендациями п. 3.2.

Снизить величину сжимающих напряжений следует в зависимости от $\frac{\sigma_{сж}}{R^н_{пр}}$. Находим по прил. 2 величину $R^н_р = 39$ Мн/м^2, вычисляем отношение $\frac{\sigma_{сж}}{R^н_{пр}} = 0{,}38$ и по п. 3.2. Рекомендаций принимаем значение коэффициента n, учитывающего уменьшение расчетных сжимающих напряжений, равным 0,83. В соответствии с этим расчетные сжимающие напряжения в конструкции уменьшаем до величины $15 \cdot 0{,}83 = 12{,}5$ Мн/м^2. Можно не изменять величину сжимающих напряжений, но в этом случае необходимо использовать специальные мероприятия для защиты бетона от хрупкого разрушения при пожаре в соответствии с положениями разд. 4 настоящих Рекомендаций.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Предисловие 3
1. Общие положения 4
2. Общая оценка возможности хрупкого разрушения бетона при пожаре 8
3. Проверка возможности хрупкого разрушения бетона в конструкции при пожаре 11
4. Мероприятия по защите бетонных и железобетонных конструкций от хрупкого разрушения при пожаре 13
Приложение 1. Методика проверки возможности разрушения при пожаре крупного заполнителя для бетона 15
Приложение 2. Характеристики бетонов, необходимые для оценки возможности хрупкого разрушения бетона при пожаре . . 16
Приложение 3. Примеры определения возможности хрупкого разрушения бетона при пожаре 18

НИИЖБ Госстроя СССР

Рекомендации
по защите бетонных
и железобетонных конструкций
от хрупкого разрушения при пожаре

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией Г. А. Жигачева
Редактор Н. А. Якушева
Мл. редактор А. Н. Ненашева
Технический редактор М. В. Павлова
Корректор Е. Д. Рагулина

Сдано в набор 19.02.79. Подписано в печать 28.05.79. Т-09477
Формат 84×108$^{1}/_{32}$ д. л. Бумага типографская № 2. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 1,26. Уч.-изд. л. 1,26.
Тираж 22000 экз. Заказ 43. Цена 5 к.

Стройиздат
103006, Москва, Каляевская, 23а

Калужское производственное объединение «Полиграфист»,
пл Ленина, 5

gost.e-ecolog.ru