

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Филимонова Н.В. Моделирование структуры и собственных деформаций расширяющихся сульфаталюминатных цементных систем. Диссертация. – Брест, 2006.
2. Михайлов В.В., Литвер С.Л. Расширяющийся и напрягающий цементы и самонапряженные конструкции. – М.: Стройиздат, 1974/ - 389 с.
3. Будников П.П., Кравченко И.В. Исследование процессов гидратации и твердения расширяющихся цементов. Труды НИИЦ, вып. 4. Госстройиздат. - М., 1951. - 42 с.
4. Ларионова З.М., Образование гидросульфаталюмината кальция и его влияние на основные свойства быстротвердеющего цемента. - М.: Госстройиздат, 1959. - 9 с.
5. Мчедлов-Петросян О.П., Филатов Л.Г. Расширяющиеся составы на основе портландцемента.-М.: Стройиздат, 1965. -139 с.

Материал поступил в редакцию 02.03.09

PLOSKONOSOV V.N., SAVENJA D.N., KRIVENJA A.D. Research heat a moisture processings of concrete on straining cement

In article the data of researches on influence heat a moisture processings of concrete on straining cement is cited at various temperatures of environment at them hardening. It is shown that at temperatures above +40°C the size of self-pressure and free expansion of concrete on HЦ in comparison with the concrete hardening at normal temperaturno-vlazhnostnyh conditions, essentially decrease; and at temperatures of environment +70°C and above specified parametres practically are absent also concrete on NC is similar to concrete on usual portland. At heats of environment hardening the specified phenomena are caused recrystallization reek in the monosulphatic form hydro sulphate of aluminium calcium.

УДК 624.012.35:69.057.43

Рак Н.А.

ОБОБЩЕННЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ МЕСТНОМ СЖАТИИ ПО ОТЕЧЕСТВЕННЫМ И ЗАРУБЕЖНЫМ НОРМАМ

Введение. Железобетонные конструкции являются в настоящее время основным видом несущих конструкций зданий и сооружений по масштабам применения в строительстве Республики Беларусь. Обеспечение надежности и долговечности железобетонных конструкций является неперенным условием повышения их эффективности.

Надежность и долговечность конструкций должны быть обеспечены выполнением требований нормативных документов по проектированию, качеством проектирования, качеством изготовления конструкций, качеством возведения (монтажа), выполнением требований по режиму эксплуатации.

Надежность и долговечность конструкций должны быть при проектировании обеспечены соответствующим выбором начальных показателей качества материалов (бетона и арматуры), назначением соответствующих геометрических параметров конструкции (размеров сечений, количество и расположение арматуры). При выбранных начальных показателях качества материалов определение соответствующих геометрических параметров конструкции выполняется по расчетным зависимостям норм.

Предельное усилие, воспринимаемое конструкцией, определяется по расчетным зависимостям, приведенным в используемых при проектировании нормативных документах. Таким образом, включаемые в нормативные документы методы расчета в значительной степени определяют надежность и долговечность железобетонных конструкций.

В связи с этим включаемые в нормативные документы методы расчета должны удовлетворять ряду требований. В-первых, методы расчета должны основываться на результатах экспериментальных исследований, выполненных при широком варьировании параметров материалов и геометрических параметров конструкций. Во-вторых, расчетные зависимости должны в максимальной степени отражать реальное напряженно деформированное состояние конструкции и схему разрушения, а также содержать геометрические параметры конструкций и характеристики материалов, поддающиеся контролю. В-третьих, расчетные зависимости должны обладать математической простотой, достигаемой, однако, при обязательном обеспечении необходимой точности и надежности. В-четвертых, структура расчетных зависимостей должна позволять путем введения дополнительных коэффициентов учитывать при необходимости особенности работы вид бетона конструкций, изготовленных из бетонов различных видов (тяжелого трехкомпонентного бетона, тяжелого мелко-

зернистого бетона, легкого бетона и т.д.).

В данной статье дана классификация методов расчета прочности бетонных элементов при местном сжатии, используемых в нормативных документах различных стран. Дана оценка соответствия методов расчета действительному характеру напряженного состояния бетона в области местного сжатия. С использованием банка экспериментальных данных (БЭД) оценена точность и надежность методов расчета прочности бетонных элементов при местном сжатии, используемых в нормативных документах различных стран.

Классификация расчетных зависимостей норм. Выполнен анализ расчетных зависимостей, представленных в нормативных документах СССР, Республики Беларусь, Российской Федерации и других стран (всего 28 документов). Следует отметить, что в большинстве нормативных документов из большого многообразия возможных схем приложения нагрузки на нагружаемой плоскости конструкции представлена только концентричная схема. Это обусловлено тем, что она наиболее часто встречается в расчетах конструкций, а также тем, что именно по этой схеме выполнено большинство экспериментальных исследований, т.е. имеется наиболее представительная выборка экспериментальных данных. Другие схемы приложения представлены только в нормах СССР, Республики Беларусь, Российской Федерации, Польши, Литвы. Дальнейшее сопоставление расчетных зависимостей выполнялось только для концентричной схемы нагружения.

Анализ расчетных зависимостей, представленных в нормативных документах различных стран, показал, что все зависимости можно условно разделить на две группы.

Первая группа (таблица 1) содержит зависимости 22 нормативных документов, приведенные к общему виду

$$f_{cud} = k \cdot f_{cd} \cdot \eta \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \leq \omega_{u,max} \cdot f_{cd}, \quad (1)$$

где f_{cud} – прочность бетона при местном действии сжимающей нагрузки; f_{cd} – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию; k – коэффициент, характеризующий повышение прочности бетона при расчете местного сжатия; A_{c0} – площадь бетона, на которую приложена местная сжимающая нагрузка; A_{c1} – условная площадь

Рак Николай Александрович, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Белорусского национального технического университета. Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.

Таблица 1. Расчетные зависимости для определения прочности бетона при местном сжатии (группа 1)

Нормативный документ	f_{cd}	K	n	$\omega_{u,max}$	
СНиП 2.03-01-84 [1]	при классе бетона ниже В25 $\frac{0,9 \cdot R_{bn}}{\gamma_b} = \frac{0,9 \cdot R_{bn}}{1,3} \approx 0,69 \cdot R_{bn}$	1,0	3	2,5	
	при классе бетона В25 и выше $\frac{13,5 \cdot 0,9 \cdot R_{btn}}{\gamma_b} = \frac{13,5 \cdot 0,9 \cdot R_{btn}}{1,5} = 8,1 \cdot R_{btn}$	1,0	3	2,5	
СНиП 2.05.03-84 [2]	$\frac{13,5 \cdot 0,9 \cdot R_{btn}}{\gamma_b} = \frac{13,5 \cdot 0,9 \cdot R_{btn}}{1,5} = 8,1 \cdot R_{btn}$	1,0	3	2	
СП 52-101-2003 [3]	$\frac{0,9 \cdot R_{bn}}{\gamma_b} = \frac{0,9 \cdot R_{bn}}{1,3} \approx 0,69 \cdot R_{bn}$	0,8	2	2,5	
СЕВ FIP 1978 [4]	$\frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1,5} \approx 0,67 \cdot f_{ck}$	$\rho_c \geq 2400$	1,0	2	3,3
		$\rho_c < 2400$	1,0	3	3,3
ENV1992-1-1 [5], EHE [6]	$\frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1,8} \approx 0,56 \cdot f_{ck}$	1,0	2	3,3	
NBR 6118:2003 [7]	$\frac{0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,85 \cdot f_{ck}}{1,4} \approx 0,61 \cdot f_{ck}$	1,0	2	3,3	
B4 [8]	$\frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{2,3} \approx 0,43 \cdot f_{ck}$	$\rho_c \geq 2400 \text{ кг/м}^3$	1,0	2	3
		$1800 \leq \rho_c \leq 2400$	1,0	2,5	2,5
		$\rho_c \leq 1800$	1,0	3	2
DIN 1045-1:2001 [9]	$\frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1,8} \approx 0,56 \cdot f_{ck}$	$\rho_c \geq 2400$	1,0	2	3
		$\rho_c < 2400$	1,0	$\frac{4800}{\rho_c}$	$\frac{\rho_c}{800}$
EN 1992-1-1:2004 [10] ВБК 04 [11]	$\frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1,8} \approx 0,56 \cdot f_{ck}$	$\rho_c \geq 2200$	1,0	2	3
		$\rho_c < 2200$	1,0	$\frac{4800}{\rho_c}$	$\frac{3 \cdot \rho_c}{2200}$
PN-B-03264:2002 [12]	$\frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1,8} \approx 0,56 \cdot f_{ck}$	1,0	2	2,5	
СЕВ FIP 1990 [13]	$\frac{0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,85 \cdot f_{ck}}{1,5} \approx 0,57 \cdot f_{ck}$	1,0	2	4	
GB 50010-2002 [14]	$\frac{f_{ck}}{1,2 \cdot \gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1,2 \cdot 1,4} \approx 0,60 \cdot f_{ck}$	1,35	2	Нет	
Code 1/87 IBC [15] IS 456:2000 [16]	$0,45 \cdot f_{cu} \approx \frac{0,45 \cdot f_{ck}}{0,8} \approx 0,56 \cdot f_{ck}$	1,0	2	2	
ACI 318-02 [17], CIRSOC 201 [18], DZ 3101.1 [19], SBK 304 [20]	$0,65 \cdot 0,85 \cdot f'_c \approx 0,55 \cdot (f_{ck} + 1,5)$	1,0	2	2	
CSA A23.3-04 [21]	$0,65 \cdot f'_c \approx 0,65 \cdot (f_{ck} + 1,5)$	1,0	2	2	
AS3600 [22]	$0,6 \cdot 0,9 \cdot f'_c \approx 0,54 \cdot (f_{ck} + 1,5)$	1,0	2	2	

В приведенных зависимостях сохранены обозначения соответствующих нормативных документов:
 R_{bn} , R_{btn} , γ_b – соответственно нормативное (призмное) сопротивление бетона осевому сжатию, нормативное сопротивление осевому растяжению, определенные с обеспеченностью 0,95; коэффициент надежности по бетону; f_{ck} , γ_c – соответственно нормативное (цилиндрическое) сопротивление бетона осевому сжатию, определенное с обеспеченностью 0,95; коэффициент безопасности по бетону; f_{cu} – нормативное (кубиковое) сопротивление бетона осевому сжатию, определенное с обеспеченностью 0,95; f'_c – нормативное (цилиндрическое) сопротивление бетона осевому сжатию, определенное с обеспеченностью 0,90; ρ_c – средняя плотность бетона (кг/м³)

Таблица 2. Расчетные зависимости для определения прочности бетона при местном сжатии (группа 2)

Нормативный документ	Зависимость
PN-76/B-03264 [23]	$R_d = R_b \cdot \left(4 - 5 \sqrt{\frac{F_d}{F_r}} + 2 \frac{F_d}{F_r} \right) \leq 2,0$
BAEL 83 [24]	$R_{bloc} = \frac{0,85 \cdot f_{c28}}{\gamma_b} K, \text{ где } K = 4 - 5 \sqrt{\frac{B_0}{B}} + 2 \frac{B_0}{B} \leq 4,0;$
BAEL 91 [25]	$R_{bloc} = \frac{0,85 \cdot f_{c28}}{\gamma_b} K, \text{ где } K = 4 - \frac{4}{3} \cdot 5 \sqrt{\frac{B_0}{B}} + \frac{4}{3} \cdot \frac{8}{3} \cdot \frac{B_0}{B} \leq 3,3$
СНБ 5.03.01-02 [26]; STR 2.05.05:2005 [27]	$f_{cud} = f_{cd} \left[1 + k_u \frac{f_{ctd}}{f_{cd}} \left(\sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} - 1 \right) \right] \leq 2,5(3,0)f_{cd},$ где $k_u = 0,8 \frac{f_{cd}}{f_{ctd}} \geq 14,0$; $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1,8} \approx 0,56 \cdot f_{ck}$
ТКП 45.5.03 (проект) [28]	$f_{cud} = f_{cd} (1 + 12,5 \cdot \psi_c) \leq 3f_{cd}, \text{ где } \psi_c = \frac{f_{ctm}}{f_{cm}} \left(\sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} - 1 \right), \frac{f_{ctm}}{f_{cm}} \geq 0,07,$ $f_{cd} = \frac{\alpha_{c,pl} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{5/6 \cdot f_{ck}}{1,5} \approx 0,56 \cdot f_{ck}$
<p>В приведенных зависимостях сохранены обозначения соответствующих нормативных документов: $R_d, R_{b,loc}, f_{cud}$ – прочность бетона при местном действии сжимающей нагрузки; R_b, f_{cd} – цилиндрическое или призмечное расчетное сопротивление бетона осевому сжатию; f_{c28} – нормативное (цилиндрическое) сопротивление бетона осевому сжатию; γ_b – коэффициент безопасности по бетону; f_{ctd} – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению; f_{ck} – нормативное сопротивление бетона осевому сжатию; f_{cm}, f_{ctm} – соответственно среднее сопротивление бетона осевому сжатию и осевому растяжению F_d, B_0, A_{c0} – площадь бетона, на которую приложена местная сжимающая нагрузка; F_r, B, A_{c1} – условная площадь бетона, на которую распределяются напряжения при местном действии сжимающей нагрузки; ψ_c – коэффициент относительного бокового давления</p>	

бетона, на которую распределяются напряжения при местном действии сжимающей нагрузки; n – константа, характеризующая степень повышения прочности бетона при местном сжатии при возрастании условной площади распределения напряжений; $\omega_{u,max}$ – предельное значение коэффициента, характеризующего повышение прочности бетона при местном сжатии.

Следует отметить, что расчетная зависимость (1) получила широкое распространение, математически проста, при необходимости может быть учтен вид бетона конструкции путем корректировки значений константы n и предельного значения коэффициента $\omega_{u,max}$. Однако по своему смысловому содержанию зависимость является чисто эмпирической, т.е. обеспечивающей удовлетворительное численное совпадение экспериментальных и расчетных значений. В то же время реальное напряженно-деформированное состояние конструкций при местном сжатии и схему их разрушения зависимость (1) не отражает.

Вторая группа (таблица 2) содержит зависимости 6 нормативных документов, отличающиеся от расчетной зависимости (1). Зависимости норм Польши [23] и Франции [24, 25] фактически основаны на одинаковом подходе к оценке динамики повышения прочности бетона при местном сжатии при возрастании условной площади распределения напряжений. Однако зависимости этих норм являются чисто эмпирическими, так же как и расчетная зависимость (1), они не отражают реальное напряженно-деформированное состояние конструкций при местном сжатии и схему их разрушения.

В то же время в нормах Республики Беларусь [26], использованных в дальнейшем без изменений в нормах Литвы [27], приведены

расчетные зависимости, отражающие реальное напряженно-деформированное состояние бетона как многоосного сжатия, создаваемого приложенной нагрузкой, и возникающим при этом боковым давлением бетона, расположенного по периметру площади нагружения. Как известно, в условиях многоосного сжатия прочность бетона значительно возрастает, а прирост прочности примерно пропорционален величине бокового давления.

В разработанном в развитие СНБ 5.03.01-02 [26] проекте технического кодекса установившейся практики [28] сохранены все подходы СНБ 5.03.01-02. Однако для более полного отражения физической сущности повышения прочности бетона при местном сжатии введено понятие коэффициента относительного бокового давления, равного отношению бокового давления, определенного при среднем сопротивлении бетона осевому растяжению, к среднему сопротивлению бетона осевому сжатию.

На рис. 1 представлены результаты вычислений прочности бетона при местном сжатии по зависимостям различных нормативных документов при различных соотношениях площади распределения A_{c1} к площади бетона, на которую приложена местная сжимающая нагрузка. Анализ результатов вычислений показал, что рассчитанные по отечественным нормам [26, 28] значения практически совпадают со значениями, полученными по европейским нормам [9-11]. Расчеты по нормам Китая [14] дают существенно завышенные значения прочности, а по нормам СССР [1, 2], Польши [23] и Франции [25], наоборот, существенно заниженные значения. Изменения, внесенные в нормы Российской Федерации [3], несколько уменьшили степень занижения получаемых по нормам СССР [1, 2] результатов, но дают занижение на 10...15% по сравнению с отечественными нормами [26, 28].

Таблица 3. Общая последовательность и основные зависимости для сопоставления надежности методов расчетов норм [9-11] и [28] в соответствии с положениями [29]

Этап расчета, параметр	Нормативный документ	
	[9-11]	[28]
Расчетные зависимости норм	$F_{cud} = f_{cd} \cdot A_{c0} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}}$	$F_{cud} = f_{cd} \cdot A_{c0} \cdot \left[1 + 12,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{cm}} \left(\sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} - 1 \right) \right]$
Этап 1. Расчетная модель в форме функции сопротивления	$F_{cu} = f_c \cdot A_{c0} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}}$	$F_{cu} = f_c \cdot A_{c0} \cdot \left[1 + 12,5 \cdot \frac{\rho(f_c)}{f_c} \left(\sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} - 1 \right) \right]$
Этап 3. Поправка среднего значения b	0,9849	0,9790
Этап 4. Коэффициент вариации V_δ для величины рассеяния δ	0,1352	0,1420
Этап 6. Коэффициент вариации прочности бетона V_{f_c}	$\frac{\sigma_{f_c}}{f_c}$	$\frac{\sigma_{f_c}}{f_c} \cdot \left(\frac{1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{\alpha}{1 - 1,64(\sigma_{f_c}/f_c)}}{1 + \alpha} \right)$
Этап 6. Коэффициент вариации площади нагружения $V_{A_{c0}}$	$\frac{1}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma_{a_0}}{a_0} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{b_0}}{b_0} \right)^2}$	$\frac{1}{2} \cdot \left(2 - \frac{\beta}{1 + \alpha} \right) \sqrt{\left(\frac{\sigma_{a_0}}{a_0} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{b_0}}{b_0} \right)^2}$
Этап 6. Коэффициент вариации площади распределения $V_{A_{c1}}$	$\frac{1}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma_{a_1}}{a_1} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{b_1}}{b_1} \right)^2}$	$\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\beta}{1 + \alpha} \right) \sqrt{\left(\frac{\sigma_{a_1}}{a_1} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{b_1}}{b_1} \right)^2}$
Этап 6. Суммарный коэффициент вариации переменных V_{rt}	$V_{rt} = \sqrt{V_{f_c}^2 + V_{A_{c0}}^2 + V_{A_{c1}}^2}$	
Этап 6. Суммарный коэффициент вариации функции сопротивления V_r	$V_r = \sqrt{V_\delta^2 + V_{rt}^2}$	
Параметры для вычисления коэффициентов вариации базисных переменных по [28]		
$\alpha = 12,5 \cdot \frac{\rho(f_c)}{f_c} \left(\sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} - 1 \right); \quad \beta = 12,5 \cdot \frac{\rho(f_c)}{f_c} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}}$		

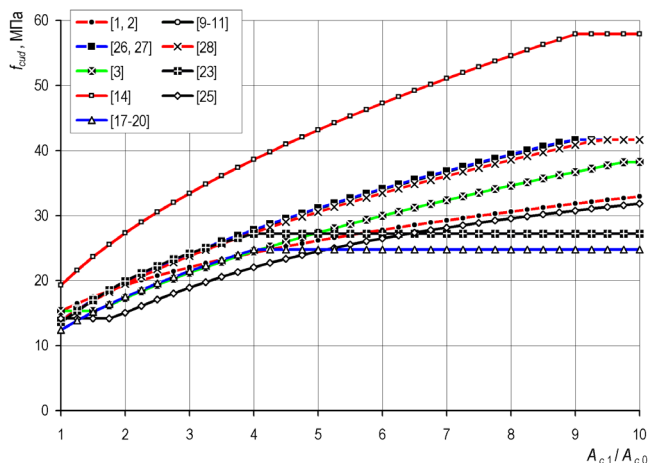


Рис. 1. Изменение значений прочности бетона при местном сжатии f_{cud} в зависимости от отношения площади распределения A_{c1} к площади бетона, на которую приложена местная сжимающая нагрузка A_{c0} , по различным нормативным документам (для бетона класса $C^{25}/_{30}$)

Оценка надежности методов расчета. Оценка надежности методов расчета прочности бетона при местном сжатии, регламентированных европейскими [9-11] и отечественными нормами [28], выполнялась согласно приложению D действующего в Республике Беларусь базового документа [29] системы строительных Еврокодов.

Общая последовательность оценки надежности методов расчета представлена в таблице 3 и состояла из нескольких этапов.

Этап 1. Формулирование расчетной модели в форме теоретической функции сопротивления $f_t = g_{rt}(X)$, которая содержит все определяющие основные базисные переменные X , оказывающие воздействие на рассматриваемое предельное состояние.

Поскольку базисные переменные должны быть независимы в теоретической функции сопротивления для норм [28] среднее сопротивление бетона осевому растяжению заменено функцией $\rho(f_c)$ нормативного сопротивления бетона осевому сжатию следующего

вида $\rho(f_c) = 0,3 \cdot (f_c - 1,64 \cdot \sigma_{f_c})^{2/3}$, где f_c средняя прочность бетона осевому сжатию, σ_{f_c} – среднеквадратическое отклонение прочности бетона.

Этап 2. Сравнение экспериментальных и теоретических значений с построением диаграммы, содержащей пары этих значений.

Для сравнения выбраны экспериментальные значения из банка экспериментальных данных [30], использованного при совершенствовании расчетной модели норм [26] в процессе разработки проек-

та технического кодекса [28]. Поскольку в методиках расчета [9-11] и [28] введены ограничения по размерам площади распределения, из этой базы были отобраны только те экспериментальные данные, которые отвечают этим ограничениям. Общее число экспериментальных значений составило 564, в том числе 262 из основной выборки и 302 из дополнительной. Полученные диаграммы (рис. 2 и 3) свидетельствуют о том, что оцениваемые методы расчета прочности бетона при местном сжатии [9-11] и [28] позволяют получить теоретические значения, удовлетворительно совпадающие с экспериментальными значениями. Обращает на себя внимание, что это характерно для значений, отобранных как из основной, так и из дополнительной выборки банка данных.

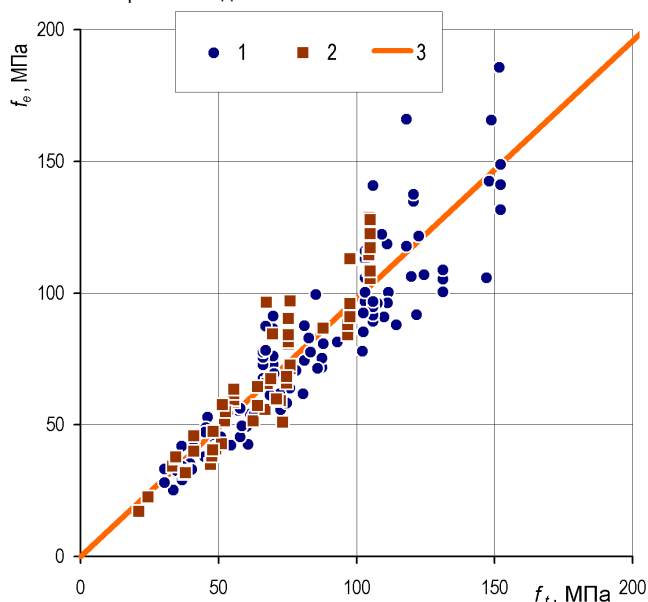


Рис. 2. Диаграмма сравнения экспериментальных значений прочности бетона на местное сжатие f_e с теоретическими по зависимости [28] значениями f_t : 1 – дополнительная выборка базы данных [30], 2 – основная выборка базы данных [30], 3 – линия, соответствующая уравнению $f_e = b \cdot f_t$

Этап 3: Определение поправки среднего значения b .

Этап 4: Определение коэффициента вариации величины рассеяния δ .

Этап 5: Проверка совместимости.

Для сравниваемых методов расчета [9-11] и [28] полученные значения поправки среднего значения b (таблица 3) близки к 1, а значения коэффициента вариации величины рассеяния δ не превышает 0,15. При проверке совместимости не выявлено существенных систематических отклонений, исключение которых позволило бы улучшить сходимость и уточнить вид функции сопротивления.

Этап 6: Определение коэффициентов вариации базисных переменных V_{X_i} .

В качестве базисных переменных X , оказывающих воздействие на рассматриваемое предельное состояние, приняты следующие переменные:

- 1) прочность бетона при осевом сжатии f_c ;
- 2) площадь приложения нагрузки $A_{c0} = a_0 \cdot b_0$, где a_0 и b_0 – размеры площади;
- 3) условная площадь распределения нагрузки $A_{c1} = a_1 \cdot b_1$, где a_1 и b_1 – размеры площади.

Согласно требованиям европейского стандарта [31] при контроле соответствия качества бетона принято, что среднее значение прочности бетона должно превышать гарантируемое изготовителем с обеспеченностью 95 % нормативное значение не менее чем на 5 МПа. Из

этого следует, что среднеквадратическое отклонение прочности бетона не должно превышать $\sigma_{f_c} = 5/1,64 \approx 3$ МПа независимо от значения прочности бетона.

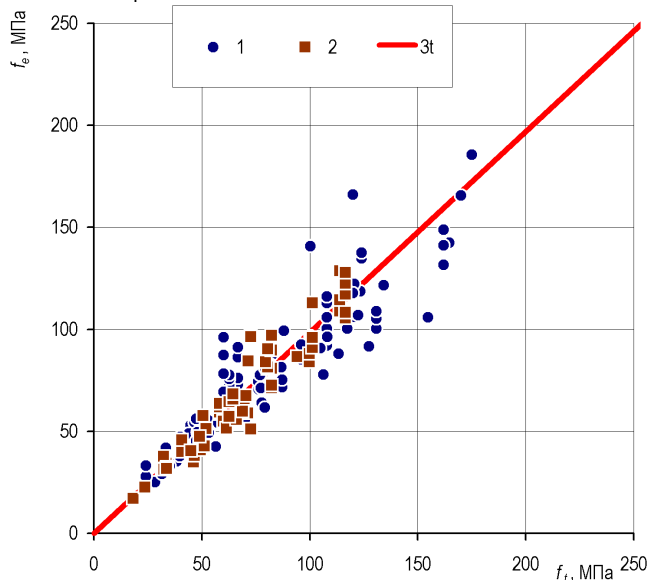


Рис. 3. Диаграмма сравнения экспериментальных значений прочности бетона на местное сжатие f_e с теоретическими по зависимости [9-11] значениями f_t : 1 – дополнительная выборка базы данных [30], 2 – основная выборка базы данных [30], 3 – линия, соответствующая уравнению $f_e = b \cdot f_t$

Номинальные (принимаемые для расчета) размеры площадей a_0 , b_0 , a_1 и b_1 указываются в проектной документации, а предельные отклонения этих размеров устанавливаются техническими условиями на изготовление конструкций. При этом считается, что предельное отклонение от номинального размера соответствует двум среднеквадратическим отклонениям этого размера. С учетом этого, по значениям установленных отечественным стандартом [32] и европейскими стандартами [33, 34] предельных отклонений, были вычислены отношения среднеквадратического отклонения номинального размера σ_a к значению номинального размера a . Результаты вычислений, выполненных для реального диапазона изменения номинальных размеров, представлены на рис.4, из рассмотрения которого можно сделать вывод о том, что требования отечественного стандарта [32] содержат меньшие значения допускаемых отклонений и являются более жесткими.

Зависимости для вычисления значений коэффициентов вариации прочности бетона V_{f_c} , площади нагружения $V_{A_{c0}}$, площади распределения $V_{A_{c1}}$, а также суммарного коэффициента вариации переменных V_{f_t} приведены в таблице 3. При дальнейших вычислениях $V_{A_{c0}}$ принято $a_0 = b_0 = 100$ мм, а для вычисления $V_{A_{c1}}$ принято $a_1 = b_1$ на трех уровнях – 150, 200 и 300 мм.

Результаты вычислений значений суммарного коэффициента вариации V_f функции сопротивления приведены на рис.5 и свидетельствуют о том, что представленный в [28] метод расчета прочности бетонных элементов для бетона классов $C^{50/60}$ и ниже дает меньшие значения этого коэффициента, чем метод расчета европейских норм [9-11]. Для бетонов классов выше $C^{50/60}$ оба метода дают примерно одинаковый результат.

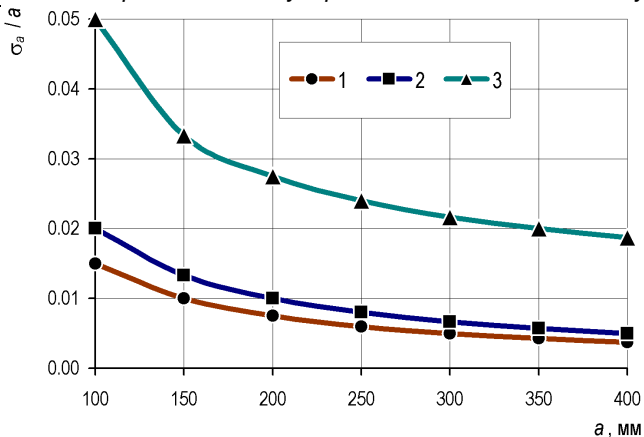


Рис. 4. Зависимость отношения σ_a/a от номинального линейного размера a : 1 – для площади нагружения местной нагрузкой согласно требованиям [32]; 2 – для условной площади распределения согласно требованиям [32]; 3 – для площади нагружения местной нагрузкой и условной площади распределения согласно требованиям [33, 34]

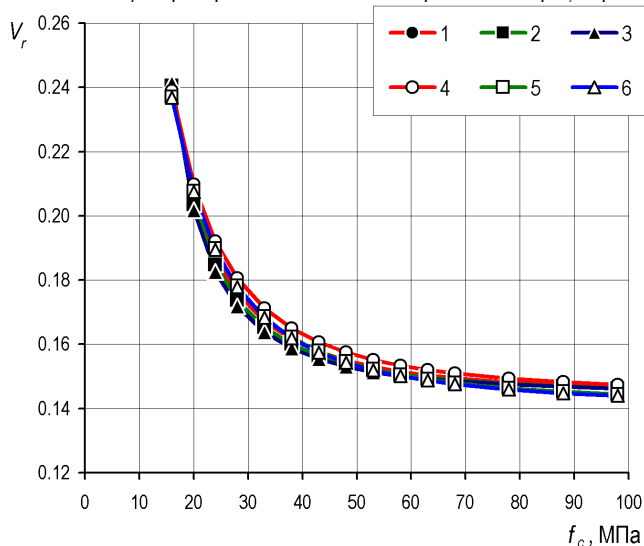


Рис. 5. Зависимость значений суммарного коэффициент вариации функции сопротивления V_r от значений прочности бетона f_c : 1, 2, 3 – расчет по [28] соответственно при $A_{c1}/A_{c0} = 2,25$; $A_{c1}/A_{c0} = 4$ и $A_{c1}/A_{c0} = 9$; 4, 5, 6 – расчет по [9-11] соответственно при $A_{c1}/A_{c0} = 2,25$; $A_{c1}/A_{c0} = 4$ и $A_{c1}/A_{c0} = 9$

После определения значений суммарного коэффициента вариации V_r функции сопротивления были определены значения индексов надежности β , обеспечиваемых методами расчета норм [9-11] и [28].

Значения индексов надежности β определялись по формуле:

$$\beta = \frac{g_{rt}(X_m) - g_{rt}(X_d)}{\alpha_R \cdot V_r \cdot g_{rt}(X_m)} = \frac{f_{cm} - f_{cd}}{\alpha_R \cdot V_r \cdot f_{cm}}, \quad (2)$$

где $g_{rt}(X_m)$ – значение функции сопротивления при средних значениях базисных переменных; $g_{rt}(X_d)$ – то же при расчетных значениях базисных переменных; α_R – средневзвешенный коэффициент для стороны сопротивления (по методу надежности 1 порядка), принимаемый согласно [29] равным 0,8; V_r – суммарный коэффици-

ент вариации функции сопротивления; f_{cm} и f_{cd} – соответственно среднее и расчетное сопротивление бетона осевому сжатию.

Результаты вычислений представлены на рис. 6, на котором дополнительно показана линия, отвечающая значению индекса надежности $\beta = 3,8$, которое соответствует классу надежности RC 2 (базовый период службы 50 лет). Анализ приведенных данных свидетельствует о том, что расчет по методу [28] дает, как правило, более высокие значения индекса надежности, чем расчет по [9-11], а, следовательно, обеспечивает более высокую надежность конструкций.

По характеру изменения значений индексов надежности β можно выделить два диапазона, первый из которых соответствует бетонам класса по прочности на сжатие $C^{30}/_{37}$ и ниже, а второй – бетонам более высоких классов.

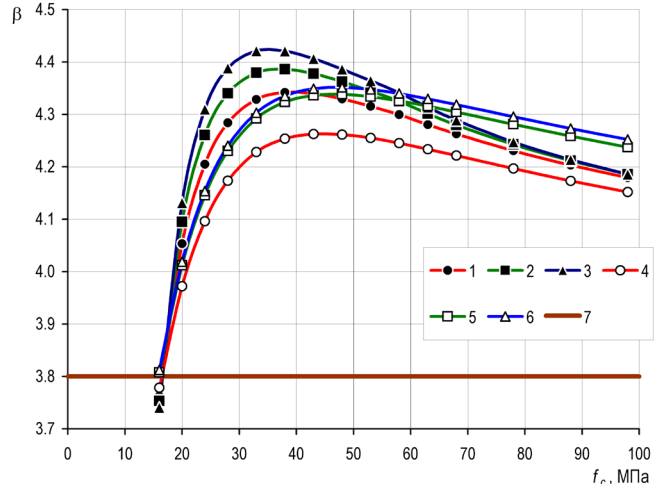


Рис. 6. Зависимость значений индексов надежности β от значений нормативного сопротивления бетона f_{ck} : 1, 2, 3 – расчет по [28] соответственно при $A_{c1}/A_{c0} = 2,25$; $A_{c1}/A_{c0} = 4$ и $A_{c1}/A_{c0} = 9$; 4, 5, 6 – расчет по [9-11] соответственно при $A_{c1}/A_{c0} = 2,25$; $A_{c1}/A_{c0} = 4$ и $A_{c1}/A_{c0} = 9$; 7 – линия, соответствующая значению индекса надежности $\beta = 3,8$

В первом диапазоне происходит рост значений индекса надежности с 3,7 до 4,25...4,45. При этом полученные по методам расчета [9-11] и [28] индексы надежности превышают значения индекса надежности $\beta = 3,8$ только для бетона класса по прочности на сжатие $C^{12}/_{15}$ и выше. При применении бетона класса по прочности на сжатие $C^9/_{10}$ обеспечивается только условие $\beta > 3,3$, что соответствует классу надежности RC 1 (базовый период службы не более 25 лет). На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что не следует применять для работающих на местное сжатие конструкций класса надежности RC 2 бетон класса по прочности на сжатие $C^8/_{10}$.

Во втором диапазоне с ростом класса по прочности на сжатие наблюдается некоторое снижение значений индекса надежности с 4,25...4,45 до 4,15...4,25.

Следует отметить, что с увеличением отношения A_{c1}/A_{c0} увеличиваются и значения индекса надежности как при расчете по методу норм [28], по методу норм [9-11]. При этом для бетона классов по прочности на сжатие $C^{50}/_{60}$ и ниже расчет по методу норм [28] всегда дает более высокие значения индекса надежности чем расчет по методу норм [9-11]. При бетоне более высоких классов это наблюдается только при условии $A_{c1}/A_{c0} \leq 3,0$.

Заключение. Представленный в проекте технического кодекса [28] метод расчета прочности бетонных элементов при местном сжатии в отличие от методов расчета европейских норм [9-11] основан на расчетных зависимостях, отражающих реальное напряженно-

деформированное состояние бетона, а именно – неравномерное многоосное сжатие, создаваемое приложенной нагрузкой и возникающим при этом боковым давлением бетона, расположенного по периметру площади нагружения.

Выполненная согласно положениям [29] оценка надежности методов расчета прочности бетона при местном сжатии показала, что представленный в [28] метод расчета, как правило, дает более высокие значения индекса надежности, чем расчет по [9-11], а, следовательно, обеспечивает более высокую надежность конструкций.

Исходя из обеспечиваемого методами расчета [9-11] и [28] индексов надежности не рекомендуется применять для работающих на местное сжатие конструкций класса надежности RC 2 бетон класса по прочности на сжатие $C^{8/10}$.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования / Госстрой СССР.– М: ЦИТП Госстроя СССР, 1989.– 80 с.
2. СНиП 2.05.03-84. Мосты и трубы. Нормы проектирования / Госстрой СССР.– М: ЦИТП Госстроя СССР, 1987.– 199 с.
3. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. М: ФГУП ЦПП, 2004. – 53 с.
4. Code-Modele CEB-FIP pour les structures en Beton. (Кодекс-образец ЕКБ-ФИП для норм по железобетонным конструкциям) – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1984. – 284 с.
5. ENV 1992-1-1:1992. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for buildings – CEN, Brussels, 1991. – 176 pp.
6. EHE. Instruccion de Hormigon Estructural. – Madrid, 2008. – 360 p.
7. NBR 6118:2003. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento (Design of structural concrete – Procedure). – ABNT, Rio de Janeiro, 2004. – 221 pp.
8. B4. Concrete Structures, guidelines of the National Building Code of Finland – Helsinki, 2005. – 83 pp.
9. DIN 1045-1:2001-07. Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion – 148 p.
10. EN 1992-1-1:2004. Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings. – CEN, Brussels, 2004. – 225 p.
11. BBK 04. Boverkets handbok om betongkonstruktioner – 2004. – 271 p.
12. PN-B-03264:2002. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.– Warszawa, PKN, 2002. – 142 pp.
13. CEB-FIP Model Code 90. – London, Tomas Telford, 1998. – 462 pp.
14. GB 50010-2002. Code for Design of Concrete Structures. – Beijing, China Architecture & Building Press, 2002. – 204 pp.
15. Code 1/87. Iraqi Building Code Requirements for Reinforced Concrete. – Building Research Centre, Baghdad, 1987. – 68 pp.
16. IS 456:2000. Plain and Reinforced Concrete – Code of Practice. – New Delhi, Indian Bureau of Standard, 2000. – 107 pp.
17. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary (318-08R). – American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 2008. – 443 pp.
18. CIRSOC 201. Reglamento Argentino De Estructuras De Hormigon. – INTI, Buenos-Aires, 2002. – 518 p.
19. NZ 3101.1:2004 (draft). Concrete Structures Standard. – 2004. – 274 p.
20. SBK 304. Structural. Concrete Structures. – The Saudi Building Code National Committee, 2004. – 266 pp.
21. CSA A23.3-04. Design of concrete structures. – Canadian Standard Association, 2004. – 240 pp.
22. AS3600. Concrete structures. – Standards Australia, 2001. – 200 pp.
23. PN-76/B-03264. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.– Warszawa, PKN, 1977. – 64 pp.
24. BAEL 83. Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites. – Paris, 1984.
25. BAEL 91 révisé 99. Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites. – Paris, 1999. – 246 pp.
26. СНБ 5.03.01-02 Конструкции бетонные и железобетонные. / МАиС РБ.– Минск, 2003.– 140 с.
27. STR 2.05.05:2005. Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. – Vinius., 2005.
28. ТКП 45-5.03-XX-20XX (02250) Бетонные и железобетонные конструкции. Часть 2. Общие правила проектирования ненапряженных конструкций из тяжелого бетона» (первая редакция). – 227 с.
29. СТБ ЕН 1990-2007 Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций. / МАиС РБ. – Минск, 2008.– 64 с.
30. Рак, Н.А. Совершенствование методики расчета бетонных элементов при местном сжатии с использованием банка экспериментальных данных / Н.А. Рак // Строительная наука и техника.– 2007. – № 5(14). – С. 84-90.
31. EN 206-1:2000. Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity. – CEN, Brussels, 2000. – 72 p.
32. СТБ 1178-99. Колонны железобетонные для зданий и сооружений / МАиС РБ. – Минск, 2000. – 13 с.
33. prEN 13369:2003. Common rules for precast concrete products. – CEN, Brussels, 2003. – 64 p.
34. prEN 13225:2004. Precast concrete products – Linear elements. – CEN, Brussels, 2004. – 31 p.

Материал поступил в редакцию 07.04.09

RAK N.A. The generalized analysis of methods of account of concrete elements at local compression on domestic and foreign norms

In clause the classification of methods of account of durability of concrete elements is given at local compression used in the normative documents of the various countries. The estimation of conformity of methods of account to the valid character of the intense condition of concrete is given in the field of local compression. With use of bank of experimental data reliability of methods of account of durability of concrete elements is appreciated at local compression used in the normative documents of the various countries.

УДК 624.012

Тур В.В.

О РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТНЫХ СТРАТЕГИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ЗАЩИТУ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ ОТ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ

1. К определению термина "прогрессирующее обрушение". Прогрессирующее обрушение (англ. *Progressive Collapse*) является относительно новым термином в теории конструкций и имеет ряд определений, содержащихся в научно-технической литературе [4–7, 9–14, 31–35]. При рассмотрении исторической ретроспективы выясняется, что основные публикации, в которых впервые появляется

термин "прогрессирующее обрушение" фокусируются на аварии 22-этажного крупнопанельного жилого здания Ronan Point Tower (Canning Town, London, UK), происшедшей в мае 1968 года, после ввода его в эксплуатацию. Причиной аварии, приведшей к прогрессирующему обрушению жилого здания, явился взрыв природного газа в кухне, расположенной на 18-ом этаже. По результатам работы

Тур Виктор Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии бетона и строительных материалов, проректор по научной работе Учреждения образования «Брестский государственный технический университет».

Беларусь, БрГТУ, г. Брест, ул. Московская, 267.

Строительство и архитектура