

# НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО НОВЫМ НОРМАМ\*

## В ПОМОЩЬ ПРОЕКТИРОВЩИКУ

### 6. РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ПРИ МЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ

Новые Нормы [1] предусматривают только расчет на смятие (местное сжатие) и на продавливание. Расчет на отрыв, который присутствовал в старых Нормах [3], оказался исключенным. Объяснение этому найти трудно — на отрыв работает нижняя зона главных балок при опирании на них второстепенных балок в монолитных ребристых перекрытиях. Хотя подобные перекрытия в настоящее время возводят не так часто, но при проверке несущей способности старых конструкций такой расчет приходится выполнять. Кроме того, на отрыв работают стенки балок и ребра сборных ребристых плит, когда к ним подвешивают грузы (оборудование, трубопроводы и т.п.). Теперь, в случае необходимости такого расчета, проектировщику придется обращаться к старым Нормах.

#### 6.1. Расчет на смятие

Расчетная модель в СП [2], как и прежде, основана на объемном напряженном состоянии бетона, т.е. с учетом эффекта обоймы, которую создает окружающий бетон. Однако детали расчета подверглись заметным изменениям.

В первую очередь, это относится к расчетным схемам смятия. Из их перечня исключены одни и добавлены другие, а у сохранившихся схем изменены габариты расчетных площадей, т.е. площадей, включающих площадь смятия и площадь обоймы (сравнить

рис. 6.11 [2] и черт. 15 [3]). Серьезные изменения коснулись и самого расчета (см. табл. 9 и 11).

Как видно из сравнения, изменились не только обозначения и названия некоторых величин, но и расчетные формулы. Проще стало вычисление расчетного сопротивления бетона смятию  $R_{b,loc}$  (за счет отказа от коэффициента  $\alpha$ ), а для вычисления коэффициента  $\varphi_b$ , учитывающего эффект обоймы, теперь требуется извлекать квадратный, а не кубический корень. Пока нет сведений, насколько эти изменения подкреплены экспериментальными исследованиями, известно только, что старая формула определения  $\varphi_b$ , заимствованная из расчета каменной кладки и предложенная еще Баушингером, за семь с лишним десятилетий успешно подтвердила свою правомочность.

Для сравнения был выполнен расчет, результаты которого приведены в табл. 10. В качестве примера рассмотрена стена толщиной 500 мм из бетона класса В10 ( $R_b = 6 \times 0,9 = 5,4$  МПа). На нее уложена балка с шириной нижней (опорной) грани 120 мм и глубиной опирания 250 мм, создающая напряжения смятия в бетоне стены. Из таблицы видно, что расчетная несущая способность, определенная по СП, оказалась на 13% ниже определенной по старым Нормах.

Есть также ряд изменений в расчете на смятие с учетом косвенного армирования в виде сварных сеток, располагаемых поперек оси силы смятия  $N$  (табл. 11).

Таблица 9

Формулы расчета прочности на смятие (без косвенного армирования)

| По СНиП 2.03.01-84*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | По СП 52-01-2003                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Условие прочности:<br/> <math>N \leq \psi R_{b,loc} A_{loc1}</math>, где<br/> <math>\psi = 1</math> при равномерном давлении,<br/> <math>\psi = 0,75</math> при неравномерном давлении,<br/> <math>A_{loc1}</math> — площадь смятия,<br/> <math>R_{b,loc} = \alpha \varphi_b R_b</math> — расчетное сопротивление бетона смятию,<br/> <math>\alpha = 1</math> для бетона классов ниже В25,<br/> <math>\alpha = 13,5 R_{bt} / R_b</math> для бетона классов В25 и выше,<br/> <math>\varphi_b = \sqrt[3]{A_{loc2} / A_{loc1}} \leq 2,5</math>,<br/> <math>A_{loc2}</math> — расчетная площадь смятия (определяется по схемам на черт. 15)</p> | <p>Условие прочности:<br/> <math>N \leq \psi R_{b,loc} A_{b,loc}</math> где<br/> <math>\psi = 1</math> при равномерном давлении,<br/> <math>\psi = 0,75</math> при неравномерном давлении,<br/> <math>A_{b,loc}</math> — площадь смятия,<br/> <math>R_{b,loc} = \varphi_b R_b</math> — расчетное сопротивление бетона смятию,<br/> <math>\varphi_b = 0,8 \sqrt{A_{b,max} / A_{b,loc}} \leq 2,5</math>,<br/> <math>A_{b,max}</math> — максимальная расчетная площадь (определяется по схемам на рис. 6.11)</p> |

\* Продолжение. Начало в №№4 и 6, 2006.



Результаты расчета на смятие (без косвенного армирования)

| По СНиП 2.03.01-84*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | По СП 52-01-2003                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Расчетная схема смятия (черт. 15,г):</p> <p> <math>A_{loc1} = 120 \times 250 = 30\,000 \text{ мм}^2</math>,<br/> <math>A_{loc2} = 1120 \times 250 = 280\,000 \text{ мм}^2</math>,<br/> <math>\varphi_b = \sqrt[3]{280/30} = 2,1 &lt; 2,5</math>,<br/> <math>\alpha = 1</math>,<br/> <math>R_{b,loc} = 2,1 \times 5,4 = 11,34 \text{ МПа}</math>,<br/> <math>\psi = 0,75</math>,<br/>                     Несущая способность:<br/> <math>N_u = 0,75 \times 11,34 \times 30 \cdot 10^3 = 255,15 \text{ кН}</math> </p> | <p>Расчетная схема смятия (рис. 6.11,д):</p> <p> <math>A_{b,loc} = 120 \times 250 = 30\,000 \text{ мм}^2</math>,<br/> <math>A_{b,max} = 620 \times 250 = 155\,000 \text{ мм}^2</math>,<br/> <math>\varphi_b = 0,8\sqrt{155/30} = 1,82 &lt; 2,5</math>,<br/> <math>R_{b,loc} = 1,82 \times 5,4 = 9,83 \text{ МПа}</math>,<br/> <math>\psi = 0,75</math>,<br/>                     Несущая способность:<br/> <math>N_u = 0,75 \times 9,83 \times 30 \cdot 10^3 = 221,18 \text{ кН}</math> </p> |

В результате изменений расчет стал несколько проще. К числу новшеств следует, в частности, отнести введение в условие прочности коэффициента  $\psi$ , который учитывает неравномерность приложения нагрузки (опорного давления) и который в старом расчете отсутствовал.

Судить о том, как приведенные изменения количественно отражаются на результатах расчета, вряд ли возможно, поскольку многое зависит от расчетной схемы смятия (т.е. от того, насколько различаются между собой параметры схем по старым и новым нормам). В примере, приведенном в табл. 10, разница в результатах вызвана, в первую очередь, именно этой причиной. Для ниже приведенного примера была взята расчетная схема (рис. в табл. 12), параметры которой ( $A_{b,max}$  и  $A_{loc2}$ ) полностью совпадают.

Исходные данные: на стену толщиной 400 мм из бетона класса В15 ( $R_b = 8,5 \times 0,9 = 7,65 \text{ МПа}$ ) передается нагрузка от колонны с размерами опорной площадки 400 x 400 мм. Стена под колонной

армирована горизонтальными сетками с ячейками 100 x 100 мм из проволоки  $\varnothing 5 \text{ Вр-I}$  ( $A_{sx} = A_{sy} = 19,6 \text{ мм}^2$ ), шаг сеток по высоте  $s = 100 \text{ мм}$ , размеры сеток по крайним стержням 800 x 400 мм.

Из сравнения результатов видно, что при одинаковых параметрах расчетной схемы, когда  $A_{b,max} = A_{loc2}$ , расчетные сопротивления смятию неармированного бетона  $R_{b,loc}$  близки. Однако расчетное сопротивление армированного бетона  $R_{bs,loc}$ , подсчитанное по новым формулам, оказалось в полтора раза ниже, чем  $R_{b,red}$ . Вызвано это намного более низкой (почти в 2,5 раза) оценкой положительного влияния косвенного армирования, что, вполне естественно, приводит либо к увеличению расхода арматуры, либо к повышению класса бетона, либо к увеличению площади смятия, т.е. к устройству распределительных плит и т.п. конструктивным мерам.

Как известно, положительная роль косвенного армирования при смятии заключается в ограничении поперечных деформаций бетона, сдерживании тре-

Таблица 11

Формулы расчета прочности на смятие (с учетом косвенного армирования)

| По СНиП 2.03.01-84*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | По СП 52-01-2003                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Условие прочности:<br/> <math>N \leq R_{b,red} A_{loc1}</math>, где<br/> <math>A_{loc1}</math> — площадь смятия,<br/> <math>R_{b,red} = R_{b,loc} + \varphi \mu_{xy} R_{s,xy} \varphi_s</math><br/>                     — приведенное расчетное сопротивление армированного бетона смятию,<br/> <math>R_{b,loc}</math> — расчетное сопротивление неармированного бетона смятию (см. выше, табл. 9),<br/> <math>\varphi = 1/(0,23 + \psi) = 1</math>,<br/> <math>\varphi_s = 4,5 - 3,5 A_{loc1} / A_{ef}</math>,<br/> <math>\psi = \mu_{xy} R_{s,xy} / (R_{s,xy} + 10)</math>,<br/> <math>\mu_{xy} = (n_x A_{sx} l_x + n_y A_{sy} l_y) / (A_{ef} s)</math> — объемный коэффициент армирования,<br/> <math>n_x, A_{sx}, l_x</math> — число стержней, площадь сечения и длина стержня одного направления,<br/> <math>n_y, A_{sy}, l_y</math> — то же, другого направления,<br/> <math>A_{ef}</math> — площадь бетона, заключенного внутри контура сеток (принимается не более <math>A_{loc2}</math> и не менее <math>A_{loc1}</math>),<br/> <math>s</math> — шаг сеток</p> | <p>Условие прочности:<br/> <math>N \leq \psi R_{bs,loc} A_{b,loc}</math>, где<br/> <math>A_{b,loc}</math> — площадь смятия,<br/> <math>\psi</math> — см. выше, табл. 9<br/> <math>R_{bs,loc} = R_{b,loc} + 2\varphi_{s,xy} \mu_{xy} R_{s,xy} \leq 2R_{b,loc}</math><br/>                     — приведенное расчетное сопротивление армированного бетона смятию,<br/> <math>R_{b,loc}</math> — расчетное сопротивление неармированного бетона смятию (см. выше, табл. 9),<br/> <math>\varphi_{s,xy} = \sqrt{A_{b,loc,ef} / A_{b,loc}}</math><br/> <math>\mu_{xy} = (n_x A_{sx} l_x + n_y A_{sy} l_y) / (A_{b,loc,ef} s)</math> — объемный коэффициент армирования,<br/> <math>n_x, A_{sx}, l_x</math> — число стержней, площадь сечения и длина стержня одного направления,<br/> <math>n_y, A_{sy}, l_y</math> — то же, другого направления,<br/> <math>A_{b,loc,ef}</math> — площадь бетона, заключенного внутри контура сеток (принимается не более <math>A_{b,max}</math>),<br/> <math>s</math> — шаг сеток</p> |



| По СНиП 2.03.01-84*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | СП 52-01-2003                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Расчетная схема смятия (черт. 15,а):                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Расчетная схема смятия (рис. 6.11, б):                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| $A_{loc 1} = 400 \times 400 = 160 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$<br>$A_{loc 2} = 1200 \times 400 = 480 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$<br>$A_{ef} = 800 \times 400 = 320 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$<br>$R_{s, xy} = 360 \text{ МПа}$<br>$\varphi_b = \sqrt[3]{480/160} = 1,44$<br>$R_{b, loc} = 7,65 \times 1,44 = 11,02 \text{ МПа}$<br>$n_x = 5, l_x = 800 \text{ мм}$<br>$n_y = 9, l_y = 400 \text{ мм}$<br>$\mu_{xy} = (5 \times 19,6 \times 800 + 9 \times 19,6 \times 400) : (320 \times 10^3 \cdot 100) = 0,0047$<br>$\psi = 0,0047 \times 360 / (7,65 + 10) = 0,096$<br>$\varphi = 1 / (0,23 + 0,096) = 3,07$<br>$\varphi_s = 4,5 - 3,5 \times 160 \cdot 10^3 / 320 \cdot 10^3 = 2,75$<br>$R_{b, red} = 11,02 + 3,07 \times 0,0047 \times 360 \times 2,75 = 25,3 \text{ МПа}$<br>Несущая способность:<br>$Nu = 25,3 \times 160 \cdot 10^3 = 4048 \text{ кН}$ | $A_{b, loc} = 400 \times 400 = 160 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$<br>$A_{b, max} = 1200 \times 400 = 480 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$<br>$A_{b, loc, ef} = 800 \times 400 = 320 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$<br>$R_{s, xy} = 415 \text{ МПа}$<br>$\varphi_b = 0,8 \sqrt{480/160} = 1,39$<br>$R_{b, loc} = 7,65 \times 1,39 = 10,6 \text{ МПа}$<br>$n_x = 5, l_x = 800 \text{ мм}$<br>$n_y = 9, l_y = 400 \text{ мм}$<br>$\mu_{s, xy} = (5 \times 19,6 \times 800 + 9 \times 19,6 \times 400) : (320 \times 10^3 \cdot 100) = 0,0047$<br>$\varphi_{s, xy} = \sqrt{320/160} = 1,41$<br>$R_{bs, loc} = 10,6 + 2 \times 1,41 \times 0,0047 \times 415 = 16,1 \text{ МПа}$<br>Несущая способность:<br>$Nu = 16,1 \times 160 \cdot 10^3 = 2576 \text{ кН}$ |

щин и, в конечном итоге, в создании облоймы — более эффективной, чем неармированный бетон. Из этого следует, что наибольшая нагрузка (наибольшие растягивающие усилия в стержнях) приходится на сетку, ближайшую к контактной поверхности. Причем, чем ближе к этой поверхности находится первая сетка, тем эффективнее работает армирование.

Это обстоятельство было учтено в старых Нормам (точнее сказать, в "Пособии по проектированию бетонных и железобетонных конструкций...", М., 1989). Там было записано, что первая сетка должна располагаться на расстоянии 15-20 мм от нагруженной (контактной) поверхности, а шаг сеток должен быть не менее 60 мм, не более 150 мм и не более 1/3 меньшей стороны сечения. Размеры ячеек сеток допускались не менее 45 мм, не более 100 мм и не более 1/4 меньшей стороны сечения элемента.

В Своде правил конструктивные требования намного короче (п. 8.3.16 [2]). Единственная запись там посвящена только глубине размещения сеток: если толщина элемента — более удвоенного большего размера грузовой площади, то глубина лежит в пределах удвоенного размера грузовой площади, если менее — то в пределах толщины элемента.

Уместно заметить, что термин "грузовая площадь" в тексте расчета на смятие отсутствует, поэтому приходится предполагать, что в виду имеется площадь смятия  $A_{b, loc}$ . (Впрочем, авторы СП настолько вольно обращаются со словами и терминами, что читатели постоянно вынуждены строить догадки и предположения.)

Что делать конструкторам, пользующимся СП? На наш взгляд, следует учитывать как новые, так и

старые конструктивные требования при смятии, тем более что они не исключают друг друга.

**Таким образом,** новый расчет на смятие имеет следующие отличительные особенности.

1. Без видимой надобности изменены индексы в обозначениях одних и тех же величин.
2. Несколько сократилось количество вычислительных операций.
3. Видоизменились многие расчетные схемы смятия.
4. У большинства сохранившихся схем уменьшилась расчетная площадь  $A_{b, max}$  ( $A_{loc 2}$  по старым Нормам), что привело к снижению расчетной несущей способности неармированного бетона.
5. Резко снизилось расчетное влияние косвенного армирования на прочность, что привело к снижению расчетной несущей способности армированного бетона.
6. Почти отсутствуют правила конструирования армированных элементов, работающих на смятие.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.
2. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры.
3. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции (с изменениями 1988 г.).

(Продолжение в одном из ближайших номеров)