

**В.В. Габрусенко,**  
Общество железобетонщиков Сибири и Урала

СПЕЦИАЛЬНО ДЛЯ ЖУРНАЛА "ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО В СИБИРИ"

# Некоторые особенности проектирования железобетонных конструкций по новым нормам

В ПОМОЩЬ ПРОЕКТИРОВЩИКУ

**Нормы проектирования железобетонных конструкций в послевоенное время обновлялись с периодичностью порядка 10 лет. На смену разделным Нормам (НиТУ 123-55 для обычных и СН 10-57 для преднапряженных конструкций) пришли объединенные СНиП II-V.1-62, затем СНиП II-21-75, затем СНиП 2.03.01-84 (редакции 1984 и 1988 гг.), а затем наступил долгий перерыв.**

Правда, в 1990-е годы научная московская номенклатура усиленно проталкивала (видимо, не без меркантильного интереса) вопрос о "гармонизации" отечественных норм проектирования с западными, т. е. о коренной ломке самого подхода к проектированию конструкций. В условиях того времени (развал системы проектных организаций, безработица в строительной отрасли, дороговизна технической литературы и пр. и пр.) это был бы "контрольный выстрел" в отечественное проектное дело. Эти "революционные" намерения встретили протесты научной общественности ([1] и др.) и, к счастью, "гармонизация" не состоялась.

Новые нормы (СНиП 52-01-2003 [2]), утвержденные и введенные в действие 30.06.2003 г. постановлением Госкомитета по строительству и ЖКХ, с точки зрения расчетных моделей принципиально не отличаются от старых, однако имеют немало частных изменений и новшеств. Некоторые из них мы и рассмотрим.

## 1. ПОСТРОЕНИЕ НОРМ

Нормы советского времени давали достаточно исчерпывающие указания о методах расчета и конструирования. В них, наряду с общими положениями, были представлены необходимые расчетные формулы и правила конструирования. Мало-мальски опытному инженеру самих Норм было вполне достаточно для проектирования конструкций.

Однако одними СНиПами дело не ограничивалось. За ними шлей-

фом тянулись всевозможные "Руководства", "Рекомендации" или "Пособия", в которых подробно расшифровывались те или иные расчетные положения и приводились примеры расчета. (Кстати сказать, конкретные примеры всегда являются лучшим способом понимания и усвоения нового расчетного аппарата — не только студентами, но и инженерами.)

Новые Нормы построены совершенно иначе. В них, на западный манер, даны только основные положения декларативного характера да приведены некоторые конструктивные ограничения. Формул в них почти нет и, образно говоря, они представляют собой "конституцию" для проектировщиков — документ хотя и обязательный, но в реальной работе почти бесполезный.

Основной упор теперь сделан на Своды правил (СП), в которых и приведены практические методы расчета и конструирования вместе с расчетными формулами и с неизбежным повторением некоторых "основных положений" из СНиП [2]. Причем СП обязательной силы не имеют. В отличие от новых Норм [2], они не "утверждены и введены в действие", а "одобрены для применения". А в отличие от старых Норм [3], которые были единичными для всего многообразия конструкций — из тяжелых и легких бетонов, с преднапряженной и обычной арматурой, СП разделены на целый букет отдельных документов. Правда, в их перечень вошли документы, посвященные таким вопросам, которые в прежних Нормах детально



Сравнительные параметры прочности бетона

Таблица 1

Наименование	По СНиП 2.03.01-84*	По СП 52-01-2003
Классы тяжелого бетона по прочности на сжатие.	От В3,5 до В60	От В10 до В60 (В12,5 исключен)
В том числе для железобетона	В7,5 и выше	В15 и выше
Промежуточные классы	В22,5 и В27,5	Исключены
Расчетные сопротивления сжатию $R_b$	Одинаковы	
Коэффициенты условий работы:		
• при непродолжительной нагрузке	$\gamma_{b2} = 1,1$	$\gamma_{b1} = 1,0$
• при продолжительной нагрузке	$\gamma_{b2} = 0,9$	$\gamma_{b1} = 0,9$
• при бетонировании в вертикальном положении	$\gamma_{b3} = 0,85$	$\gamma_{b3} = 0,9$
• при попеременном замораживании и оттаивании (при $t \geq -400^\circ\text{C}$ )	$\gamma_{b6} = 1,0$	$\gamma_{b4} = 1,0$

не рассматривались, а являлись объектами только "руководств" и "рекомендаций" (сталежелезобетонные, фибробетонные и пространственные конструкции, здания и сооружения и др.).

К моменту написания данной статьи в свет выпущен СП 52-101-2003 [4], посвященный конструкциям из тяжелого бетона с обычным армированием, и СП 52-102-2004, посвященный преднапряженным конструкциям. Проектировать преднапряженный железобетон в настоящее время случается крайне редко, поэтому рассмотрим пока только СП 52-101-2003.

## 2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

В параметрах прочности бетона произошли незначительные изменения. В частности, исключены некоторые классы тяжелого бетона и изменены значения некоторых коэффициентов условий работы (табл. 1).

В отношении арматуры изменения коснулись только добавления новых классов А500 и В500 и некоторого увеличения значений коэффициентов надежности  $\gamma_s$ , что привело к уменьшению значений

расчетного сопротивления растяжению  $R_s$  (табл.2).

Более существенные изменения коснулись деформативных характеристик материалов. Введены новые нормативные понятия — "диаграммы состояния" бетона (т.е. диаграммы сжатия) и арматуры (диаграмма растяжения), которых в старых Нормах не было, поскольку отсутствовала сама надобность в них. Если диаграмма растяжения арматуры представлена как двухлинейная (рис. 5.2 [4]), т.е. как идеализированная диаграмма Прандтля, согласно которой материал деформируется по закону Гука до предела текучести, а затем течет вплоть до разрыва, то для бетона представлены два варианта диаграмм — двухлинейная и трехлинейная (рис. 5.1 [4]). Трехлинейная диаграмма более близка к реальной (фактической) диаграмме сжатия бетона (рис. 1).

В связи с появлением диаграмм в СП были введены и показатели предельной сжимаемости бетона  $\epsilon_{b0}$  (которые в старых Нормах присутствовали в скрытой форме). При этом зависимость величины предельной сжимаемости от прочности в СП не учтена, поэтому

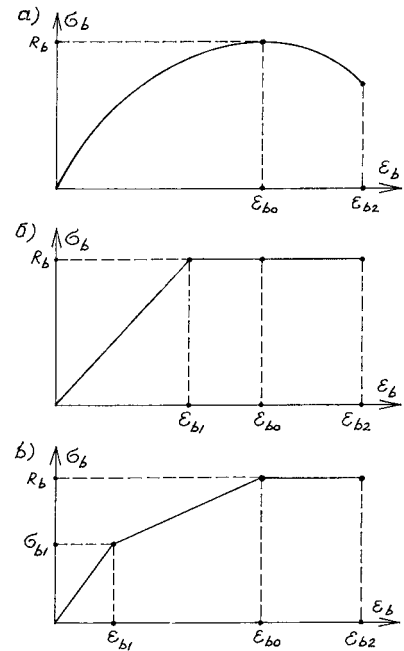


Рис. 1. Диаграммы сжатия бетона: а) реальная, б) двухлинейная, в) трехлинейная.

значения  $\epsilon_{b0}$  приняты одинаковыми для бетонов всех классов: при непродолжительном действии нагрузки равными 0,002, при продолжительном — от 0,003 до 0,004 в зависимости от влажности воздушной среды (табл. 5.6 [4])

Кроме значения  $\epsilon_{b0}$ , соответствующего вершине реальной диаграммы сжатия (пределу прочности бетона), введено еще и значение  $\epsilon_{b2}$ , соответствующее разрушению материала и расположенного на нисходящей ветви реальной диаграммы, а также значение  $\epsilon_{b1}$ , соответствующее условному окончанию упругой работы бетона.

Значения начальных модулей упругости  $E_b$  в СП приняты без разделения на условия твердения бетона (естественные или при тепловой обработке) и мало отличаются от значений, принятых в старых Нормах для бетона естественного твердения. Новинкой здесь явилось то, что кроме начальных модулей упругости при непродолжительном действии нагрузки  $E_b$  установлены начальные модули упругости при продолжительном действии нагрузки  $E_{b,\tau} = E_b / (1 + \varphi_{b,\tau})$ , где значение коэффициента  $\varphi_{b,\tau}$  меняется от 1,0 до 5,6 в зависимости от класса бетона и влажностных условий эксплуатации (п. 5.1.13 [4]). Например, для бетона класса В30 при нормальной влажности окружающей среды величина  $E_{b,\tau}$  в 3,3 раза меньше величины  $E_b$ .

Сравнительные параметры прочности арматуры

Таблица 2

Класс арматуры	По СНиП 2.03.01-84*		По СП 52-01-2003	
	$\gamma_s$	$R_s (R_{sc}), \text{МПа}$	$\gamma_s$	$R_s (R_{sc}), \text{МПа}$
A240 (A-I)	1,05	225 (225)	1,10	215 (215)
A300 (A-II)	1,05	280 (280)	1,10	270 (270)
A400 (A-III, A400C): Ø 6-8 мм Ø 10-40 мм	1,10	355 (355)	1,10	355 (355)
	1,07	365 (365)	1,10	355 (355)
A500 (A500C)	—	—	1,15	435 (400**)
Bp-I	1,10	375-360 (375-365)	—	—
B500 (Bp-I, B500C)	—	—	1,20	415 (400**)

\*\* при продолжительном действии нагрузки  $R_{sc} = R_s$

Таблица 3  
Сравнительные значения граничной относительной высоты сжатой зоны  $\xi_R$

Класс арматуры	По СНиП 2.03.01-84*					По СП 52-01-2003
	Коэффициент $\gamma_{b2}$	Для бетона класса				
		B15	B20	B30	B40	
A-I	0,9	0,698	0,674	0,630	0,591	0,605
	1,0	0,673	0,645	0,596	0,553	
A-II	0,9	0,680	0,650	0,610	0,571	0,570
	1,0	0,650	0,623	0,573	0,530	
A-III	0,9	0,652	0,627	0,582	0,542	0,530
	1,0	0,619	0,591	0,541	0,498	

### 3. РАСЧЕТ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ПРОЧНОСТИ

Расчет при изгибе практически не отличается от расчета по старым Нормам. Так же рекомендуется проектировать сечения с высотой сжатой зоны  $x$  не более граничной высоты  $x_R$ , так же принимается прямоугольная эпюра напряжений в сжатой зоне, а расчет ведется по тем же формулам.

Есть, правда, две отличительные детали. Первая — расчет ведется “по предельным усилиям”. Введение нового термина сути расчета не меняет. Если в старых Нормам условие прочности, например, для прямоугольного сечения было записано в виде  $M \leq R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} (h_0 - a')$ , то в СП в виде  $M \leq M_{ult}$ , где  $M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} (h_0 - a')$  — и есть предельное усилие. Хотя условие прочности в СП представлено двумя формулами вместо прежней одной, такая форма записи, на наш взгляд, удобнее (не зря её традиционно используют вузовские преподаватели).

Вторая деталь — по-новому определяется граничная относительная высота сжатой зоны  $\xi_R$  (п. 6.2.7 [4]). Теперь она зависит только от предела текучести (т.е. класса) растянутой арматуры и вовсе не зависит ни от класса бетона, фактическая предельная сжимаемость которого уменьшается с ростом прочности, ни от характера действия нагрузки (коэффициента условий работы  $\gamma_b$ ), когда по мере увеличения продолжительности действия нагрузки фактическая предельная сжимаемость увеличивается. В результате, значения  $\xi_R$  для бетонов низкой и средней прочности стали существенно меньше, чем были ранее (табл. 3), что в ряде случаев дает дополнительный запас прочности по сравнению с результатами расчета по старым Нормам и

приводит к увеличению расхода материалов.

Здесь уместно заметить, что упомянутые “диаграммы состояния” никакого отношения к прямоугольной эпюре напряжений в бетоне сжатой зоны не имеют. Они нужны, если расчет ведется по так называемой нелинейной деформационной модели. Тогда эпюра напряжений при двухлинейной диаграмме состоит из двух фигур — прямоугольника в верхней части и треугольника у нейтральной оси, а при трехлинейной состоит из трех фигур — прямоугольника, трапеции и треугольника (рис. 2).

“Ручной” расчет прочности с использованием диаграмм весьма трудоемок (при наличии дополнительных неизвестных нужно пользоваться методом последовательных приближений) и вряд ли вообще оправдан, так как накопленный еще в советское время экспериментальный материал показал, что теоретическая прочность изгибаемых элементов, подсчитанная по формулам Норм, отличается от фактической, как правило, не более чем на 5%.

Диаграммы дают другое преимущество — с их помощью можно определить (используя компьютерные программы) напряженно-деформированное состояние нормального сечения на любой стадии работы конструкции. Целесообразно их использовать также для расчета сечений сложной формы, при многорядном расположении арматуры и в других подобных случаях. Для таких сечений в старых Нормам предусматривался расчет по “общему случаю” с решением систем уравнений. При этом эпюра напряжений в сжатой зоне принималась прямоугольной. Надо полагать, что использование диаграмм позволит более точно оценить прочность нормальных сечений.

Расчет при центральном и внецентральном растяжении практически полностью идентичен расчету по старым Нормам.

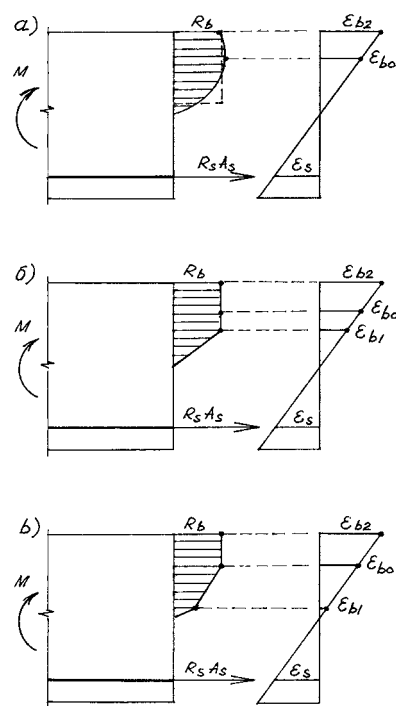


Рис. 2. Эпюры напряжений и деформаций в нормальном сечении при изгибе в зависимости от вида диаграмм сжатия бетона: а) реальной (пунктиром показана расчетная эпюра), б) двухлинейной, в) трехлинейной.

Расчет при внецентральном сжатии по предельным усилиям не ведется. Причина в том, что усилий здесь два — продольная сила  $N$  и изгибающий момент  $M$ , и предельная величина одного из них зависит от сопутствующей величины другой. То есть сама задача является двухмерной и в общем виде решается как зависимость между  $N$  и  $M$ , поэтому условие прочности в СП записано в традиционной форме.

Для случая больших эксцентриситетов ( $\xi \leq \xi_R$ ) расчет по СП не отличается от расчета, принятого в старых Нормам. Для случая малых эксцентриситетов ( $\xi > \xi_R$ ) основное отличие состоит в определении высоты сжатой зоны  $x$ . Кроме того, для обоих случаев по-иному рассчитывается критическая сжимающая сила  $N_{cr}$ . Она участвует в формуле, определяющей коэффициент  $\eta$  (последний учитывает дополнительный прогиб сжатого элемента и увеличивает эксцентриситет  $e_0$  приложения сжимающей силы  $N$ ).

Как отражаются эти изменения, видно из ниже приведенного примера расчета (табл. 4 и 5).

Исходные данные. Колонна сечением  $b \times h = 400 \times 400$  мм расчетной длиной  $l_0 = 4,2$  м. Бетон тяжелый класса В25. Расчетное



Таблица 4

Результаты расчета коэффициента  $\eta$

По СНиП 2.03.01-84*	По СП 52-01-2003
$E_b = 27 \cdot 10^3$ МПа (при термообработке) $R_s = 365$ МПа $\alpha_s = E_s/E_b = 7,41$ $I_b = 2133 \cdot 10^6$ мм <sup>4</sup> $\alpha I_s = 238 \cdot 10^6$ мм <sup>4</sup> $\varphi_l = 1 + N_l/N = 1,8$ $\delta_e = e_0/h = 0,163 < \delta_{e,min} = 0,265$ (где $\delta_{e,min} = 0,5 - 0,01l_0/h - 0,01R_b$ ) принимаем $\delta_e = 0,265$ По формуле 58: $N_{cr} = 6990$ кН $\eta = 1/(1 - N/N_{cr}) = 1,23$	$E_b = 30 \cdot 10^3$ МПа $E_{b,r} = E_b/(1 + \varphi_{b,cr}) = 9,09 \cdot 10^3$ МПа $R_s = 355$ МПа $I_s = 32 \cdot 10^6$ мм <sup>4</sup> $\varphi_l = 1 + N_l/N = 1,8$ $\delta_e = e_0/h = 0,163 > \delta_{e,min} = 0,15$ $k_b = 0,15/[\varphi_l(0,3 + \delta_e)] = 0,18$ $k_s = 0,7$ $D = k_b E_{b,r} I_b + k_s E_s I_s = 7970 \cdot 10^9$ Н·мм <sup>2</sup> По формуле 6.24: $N_{cr} = \pi^2 D/l_0^2 = 4463$ кН $\eta = 1/(1 - N/N_{cr}) = 1,41$

Таблица 5

Результаты расчета несущей способности колонны

По СНиП 2.03.01-84*	По СП 52-01-2003
$Ne = N(e_0\eta + 0,5h - a) = 311,9$ кН·м $\xi_R = 0,604$ , $x_R = 217$ мм По формулам 38, 39: $x = 251$ мм Несущая способность: $(Ne)_u = R_b b x (h_0 - x/2) + R_{sc} A_s' (h_0 - a') = 380,1$ кН·м $(Ne)_u/(Ne) = 1,218$	$Ne = N(e_0\eta + 0,5h - a) = 327,1$ кН·м $\xi_R = 0,530$ , $x_R = 191$ мм По формуле 6.22: $x = 230$ мм Несущая способность: $(Ne)_u = R_b b x (h_0 - x/2) + R_{sc} A_s' (h_0 - a') = 365,5$ кН·м $(Ne)_u/(Ne) = 1,117$

сопротивление бетона сжатию с учетом продолжительного действия нагрузки  $R_b = 14,5 \cdot 0,9 = 13,05$  МПа. Арматура из четырех стержней диаметром 20 мм класса А-III (А400) расположена симметрично:  $A_s = A_s' = 628$  мм<sup>2</sup>,  $E_s = 200 \cdot 10^3$  МПа. Рабочая высота сечения  $h_0 = 360$  мм,  $a' = 40$  мм. Величина продольной сжимающей силы от расчетной нагрузки  $N = 1300$  кН, расчетный эксцентриситет  $e_0 = 65$  мм. Доля длительно действующей нагрузки  $N_l/N = 0,8$ .

#### 4. РАСЧЕТ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ПРОЧНОСТИ

Как и в старых Нормах, бетонные элементы рассчитывают на внецентренное сжатие в зависимости от условий работы — без учета и с учетом сопротивления бетона растянутой зоны. В первом случае расчетные формулы сохранились без изменений.

Во втором случае произошло одно существенное изменение, а именно: эпюра напряжений в растянутой зоне принята не прямоугольной, а треугольной, т.е. не в одной в сжатой, но и в растянутой зоне учитывается только упругая работа бетона. Это привело к отказу от упруго-пластического момента сопротивления  $W_{pl}$ , который, например, для прямоугольного сечения в 1,75 раза больше, чем упругий момент сопротивления  $W$ .

Если в старых Нормах условие прочности имело вид  $N \leq R_{br} W_{pl} / (e_0\eta - r)$  (где  $r$  — радиус ядра се-

чения), то в СП расчет, по существу, сводится к определению растягивающих напряжений в крайнем волокне упругого сечения при действии внецентренного сжатия и сравнении их с расчетным сопротивлением бетона растяжению:  $\sigma_t = N/A - N \cdot e_0\eta \cdot y/l \leq R_{br}$ . Эта известная формула сопромата была преобразована и записана в СП в несколько «неудобоваримом» виде:  $N \leq R_{br} A / (A e_0 \eta y/l - 1)$ .

Данное изменение привело, как и следовало ожидать, к снижению расчетной несущей способности конструкций и, следовательно, к увеличению требуемых размеров сечения или повышению прочности бетона. Например, сравнительный расчет элемента сечением 600 × 600 мм из бетона класса В15, сжатого силой  $N$  с эксцентриситетом  $e_0\eta = 150$  мм, показал, что его несущая способность  $N_{ult}$ , определенная по старым Нормах составляет 675 кН, а по СП — 540 кН.

**Подводя первые итоги**, можно заключить, что расчет по СП 52-101-2003 более осторожно оценивает прочность нормальных сечений, особенно при внецентренном сжатии, что увеличивает расчетные запасы прочности, а вместе с этим увеличивает и расход материалов по сравнению с расчетом по старым Нормах.

В этом же направлении действуют и некоторые конструктивные изменения. В частности, для ряда конструктивных элементов увеличились минимальные зна-

чения защитных слоев бетона. Увеличились минимальные значения процента армирования для изгибаемых, внецентренно растянутых и внецентренно сжатых конструкций. Уменьшился максимально допустимый шаг поперечной арматуры в сварных каркасах с  $20d_s$  до  $15d_s$ . Увеличилась также и расчетная длина анкеровки растянутой арматуры в бетоне  $l_{anr}$ , которая теперь определяется по другой формуле. Например, для стержня класса А400 диаметром 20 мм в бетоне класса В25 величина  $l_{anr}$ , подсчитанная по старым Нормах (п. 5.14 [3]), составляет 562 мм, а по СП (п. 8.3.21 [4]) — 676 мм. Кроме того, в некоторых случаях увеличилась расчетная длина сжатых элементов. Причем, в отличие от старых Норм, условия закрепления концов элементов описаны обще, без привязки к конкретным конструкциям, что создает условия для разного толкования требований (сравнить п. 3.25 и табл. 32 [3] и п. 6.2.18 [4]).

Можно, конечно, поставить вопрос о том, насколько правомерно изменение самого вида некоторых формул и не лучше ли было изменить значения эмпирических поправок в старых формулах, «освященных» 30-ти, а то и 50-летним опытом их применения. Можно недоумевать, зачем подверглись изменениям обозначения некоторых индексов и коэффициентов. При всем том следует, однако, признать, что СП более реалистично учитывает современную технологическую дисциплину в строительстве, которая в большинстве случаев, увы, существенно ниже дисциплины советской эпохи.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Габрусенко В.В. О подготовке и введении новых Норм проектирования железобетонных конструкций // Бетон и железобетон. — 1995, №1. — С.27-28.
2. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.
3. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции (с изменениями 1988 г.).
4. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры.

Продолжение в одном из ближайших номеров

