



О расчете железобетонных конструкций



Михаил ЛУКЬЯНОВ
Mikhail A. LUKYANOV

Анна ЛУКЬЯНОВА
Anna A. LUKYANOVA



*Лукьянов Михаил Анатольевич — кандидат технических наук, доцент Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).
Лукьянова Анна Александровна — ассистент кафедры «Теоретическая механика» МИИТ.*

Авторы ведут поиск предельного изгибающего момента железобетонного поперечного сечения без предварительного напряжения арматуры с учетом продольного усилия. Используется двухлинейная диаграмма состояния бетона и арматуры. Предложен обобщенный подход к расчету конструкций, лишенный недостатков, свойственных более ранним рекомендованным теорией вариантам.

Ключевые слова: транспортное строительство, железобетон, предельный момент, двухлинейная диаграмма состояния, арматура.

При расчете железобетонного поперечного сечения требуется определить предельное значение изгибающего момента [1]. В ряде случаев расчетные формулы дают вполне приемлемые приближения к величине сжатой зоны бетона. Однако перед вычислением этой величины следует убедиться, что значения деформаций бетона и сжатой арматуры не превосходят предельно допустимых. Иногда при использовании рекомендованных формул для определения высоты сжатой зоны бетона значение данной высоты оказывается или меньше, чем расстояние от сжатой грани до центра арматуры, работающей на сжатие, или вообще величиной отрицательной. Как правило, это свидетельствует о невыполнении принятых допущений или неверных исходных предположений, что приводит к пересмотру учитываемых в расчете стержней арматуры и некоторому изменению исходных расчетных формул. Это касается поперечных сечений с высоким процентом армирования, сечений с избыточной сжатой арматурой, унифицированных элементов, рабочее состояние которых не вполне адекватно с точки зрения прочности арматуры.

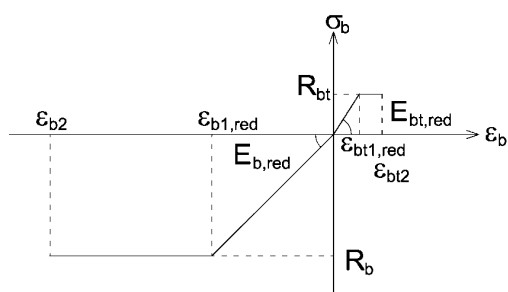


Рис. 1. Двухлинейная диаграмма состояния бетона.

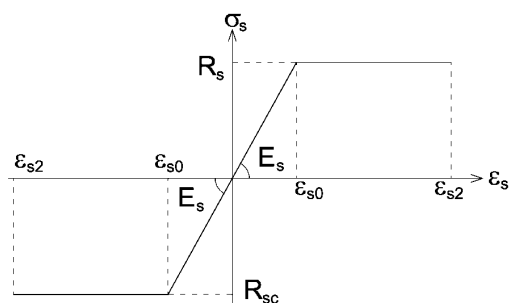


Рис. 2. Диаграмма состояния растянутой арматуры.

В статье обобщается подход к расчету железобетонных поперечных сечений на действие продольной силы и изгибающего момента, сформулированный в [2]. В расчетных уравнениях учитываются несколько рядов растянутой арматуры, сжатая арматура, а также продольное усилие N_z .

1. ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ БЕТОНА И АРМАТУРЫ

В качестве расчетной диаграммы состояния бетона, определяющей связь между напряжениями и относительными деформациями, примем двухлинейную диаграмму (рис. 1). В этом случае сжимающие напряжения бетона σ_b определяют в зависимости от относительных деформаций ε_b по формулам:

$$\text{при } 0 < \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b1}, -\sigma_b = E_{b,red} \varepsilon_b,$$

$$\text{где } \varepsilon_{b1} = \frac{R_b}{E_{b,red}};$$

$$\text{при } \varepsilon_{b1} \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b2}, -\sigma_b = R_b.$$

Значение приведенного модуля деформации бетона $E_{b,red}$ примем равным

$$E_{b,red} = \frac{R_b}{\varepsilon_{b1,red}}.$$

В качестве расчетной диаграммы состояния (деформирования) арматуры, устанавливающей связь между напряжениями σ_s и относительными деформациями ε_s , примем двухлинейную диаграмму, показанную на рис. 2.

Диаграммы состояния арматуры при растяжении и сжатии считаются одинаковыми. Значения модуля упругости арматуры принимаем равными $2,0 \cdot 10^5$ МПа.

Напряжения в арматуре σ_s определяются в зависимости от относительных де-

формаций ε_s согласно диаграмме состояния арматуры по формулам:

$$\text{при } 0 < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s0}, -\sigma_s = E_s \varepsilon_s;$$

$$\text{при } \varepsilon_{s0} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s2}, -\sigma_s = R_s.$$

Значения относительной деформации ε_{s2} примем равными 0,025.

2. РАСЧЕТ ПО ДИАГРАММАМ ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Расчет с использованием полной диаграммы деформирования бетона и арматуры наиболее универсален, так как он позволяет комплексно оценивать их упруго-пластические качества. Однако этот вариант приводит к более сложным и громоздким расчетным зависимостям.

Считается справедливой гипотеза плоских сечений.

При расчете железобетонных элементов с нормальным сечением по диаграммам деформирования бетона и арматуры рассматриваются три возможные расчетные ситуации [2].

Первая ситуация реализуется, когда деформации части сжатой зоны бетона и растянутой продольной арматуры находятся в пределах горизонтального участка диаграммы:

$$\varepsilon_{b,el} \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b,ult} \text{ и } \varepsilon_{s,el} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s,ult}.$$

При этом напряжения в вершине сжатой зоны бетона равны расчетным сопротивлениям бетона сжатию R_b , а напряжения в растянутой арматуре — ее расчетным сопротивлениям растяжению R_s .

Вторая расчетная ситуация реализуется, когда деформации части сжатой зоны бетона находятся в пределах горизонтального участка диаграммы, а деформации растянутой продольной арматуры — в пределах



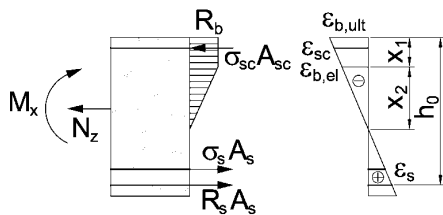


Рис. 3. Эпюра усилий, напряжений и деформаций.

наклонного участка: $\epsilon_{b,el} \leq \epsilon_b \leq \epsilon_{b,ult}$ и $\epsilon_s \leq \epsilon_{s,el}$.

При этом напряжения в вершине сжатой зоны бетона равны расчетным сопротивлениям бетона сжатию R_b , а напряжения в растянутой продольной арматуре меньше или равны ее расчетным сопротивлениям растяжению.

Третья расчетная ситуация реализуется, когда деформации части сжатой зоны бетона находятся в пределах наклонного участка диаграммы, а деформации продольной растянутой арматуры – в пределах горизонтального участка: $\epsilon_b \leq \epsilon_{b,el}$ и $\epsilon_{s,el} \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{s,ult}$.

При этом напряжения в вершине сжатой зоны бетона меньше или равны расчетным сопротивлениям бетона сжатию R_b , а напряжения в растянутой продольной арматуре равны ее расчетным сопротивлениям растяжению.

Для первой расчетной ситуации, исходя из линейного распределения деформаций в пределах поперечного сечения, получим трапециевидную эпюру напряжений в сжатой зоне бетона. Эпюра состоит из прямоугольного участка высотой x_1 с напряжениями, равными расчетным сопротивлениям бетона сжатию R_b , и треугольного участка высотой x_2 с максимальными напряжениями в вершине этого участка, равными расчетным сопротивлениям бетона сжатию (рис. 3).

В этом случае уравнение равновесия продольных сил на горизонтальную ось предстает в виде

$$N_z + R_b b x_1 + \frac{1}{2} R_b b x_2 - R_s A_s - \sum E_s \epsilon_s A_s = 0 \quad (1)$$

Соотношение между значениями x_1 и x_2 получаем из диаграммы деформирования бетона:

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{\epsilon_{b,ult} - \epsilon_{b,el}}{\epsilon_{b,el}} \quad (2)$$

Значения параметров высоты сжатой зоны x_1 и x_2 определяются по формулам:

$$x_1 = \frac{R_s A_s + \sum E_s \epsilon_s A_s - N_z}{R_b b} \frac{\frac{x_1}{x_2}}{\frac{x_1}{x_2} + \frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$x_2 = \frac{R_s A_s + \sum E_s \epsilon_s A_s - N_z}{R_b b} \frac{1}{\frac{x_1}{x_2} + \frac{1}{2}} \quad (4)$$

Принимая $\epsilon_b = \epsilon_{b,ult}$, что означает деформации бетона в вершине сжатой зоны равны предельным значениям, определим предельный момент, воспринимаемый нормальным сечением, при значениях x_1 и x_2 по следующему выражению

$$M_{ult} = R_b b x_1 \left(y_{max} - \frac{1}{2} x_1 \right) + \frac{1}{2} R_b b x_2 \left(y_{max} - x_1 - \frac{1}{3} x_2 \right) + R_s A_s y_s + \sum \sigma_s A_s y_s \quad (5)$$

где y_{max} – максимальное значение ординаты сжатого волокна.

Если деформации арматуры ϵ_s достигают предельных значений $\epsilon_{s,ult}$ раньше, чем сжатый бетон достигнет предельных значений $\epsilon_{b,ult}$, то значения максимальных деформаций бетона ϵ_b определяются через значения $\epsilon_{s,ult}$ и соотношение x_1 и x_2 :

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{\epsilon_b - \epsilon_{b,el}}{\epsilon_{b,el}},$$

$$\text{где } \epsilon_b = \epsilon_{s,ult} \frac{x_1 + x_2}{h_0 - x_1 - x_2}.$$

Для второй расчетной ситуации (рис. 4) уравнение равновесия продольных сил запишется в виде:

$$N_z + R_b b x_1 + \frac{1}{2} R_b b x_2 - \sum E_s \epsilon_s A_s = 0 \quad (6)$$

Напряжения в продольной арматуре определяются по закону Гука из условия линейного распределения деформации

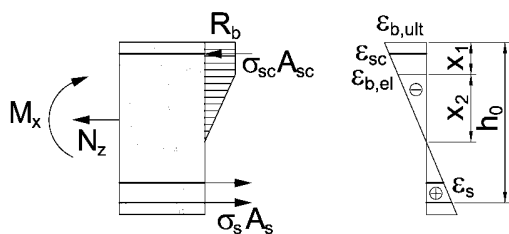


Рис. 4. Эпюра усилий, напряжений и деформаций.

ций по нормальному сечению и предельных деформаций бетона

$$\sigma_s = E_s \varepsilon_{b,ult} \frac{h_0 - x}{x}. \quad (7)$$

Предельный момент, воспринимаемый нормальным сечением, фиксируется по формуле (5), где x_1 и x_2 определяются по полученным выше формулам. Предпоследнее слагаемое, соответствующее арматуре, достигшей предельного состояния, отбрасывается.

Для третьей расчетной ситуации имеем треугольную эпюру напряжений в сжатой зоне бетона (рис. 5) и уравнение равновесия продольных сил в виде ($x_1 = 0$):

$$N_z + \frac{1}{2} \sigma_b b x_2 - R_s A_s - \sum E_s \varepsilon_s A_s = 0. \quad (8)$$

Напряжения в вершине сжатой зоны бетона определяются из его деформирования по наклонному участку диаграммы, условия линейного распределения деформаций по нормальному сечению и предельных деформаций арматуры

$$\sigma_b = E_b \varepsilon_{s,ult} \frac{h_0 - x_2}{x_2}. \quad (9)$$

Отсюда находим предельный момент по формуле

$$M_{ult} = \frac{1}{2} \sigma_b b x_2 \left(y_{max} - \frac{1}{3} x_2 \right) + R_s A_s y_s + \sum \sigma_s A_s y_s, \quad (10)$$

где x_2 — высота сжатой зоны бетона.

Таким образом, мы получили формулы (5) и (10) для трех расчетных ситуаций, связанных с нахождением предельного значения изгибающего момента.

Расчетная ситуация определяется величиной граничной высоты сжатой зоны бетона, которая может быть вычислена

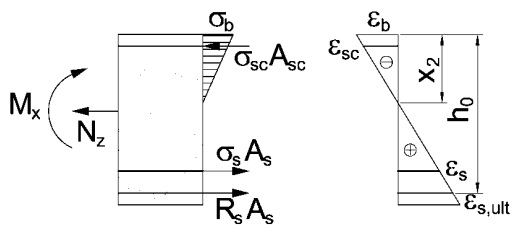


Рис. 5. Эпюра усилий, напряжений и деформаций.

исходя из условия деформирования нормального сечения и граничных значений деформации бетона и арматуры

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_s} = \frac{x}{h_0 - x}. \quad (11)$$

Для разграничения первой и второй расчетных ситуаций решающей характеристикой будет величина предельных деформаций бетона $\varepsilon_b = \varepsilon_{b,ult}$. В результате граничная высота сжатой зоны бетона в этом случае равна

$$x_{R1} = \frac{\varepsilon_{b,ult}}{\varepsilon_{b,ult} + \frac{R_s}{E_s}} h_0. \quad (12)$$

Для разграничения первой и третьей расчетных ситуаций такой же характеристикой выступает величина предельных деформаций арматуры $\varepsilon_s = \varepsilon_{s,ult}$. И тогда граничная высота сжатой зоны бетона равна

$$x_{R2} = \frac{\varepsilon_{b,el}}{\varepsilon_{b,el} + \varepsilon_{s,ult}} h_0. \quad (13)$$

При расчете в качестве исходной, основной рассматривается первая расчетная ситуация, когда напряжения в вершине сжатой зоны и растянутой арматуре равны расчетным сопротивлениям сжатия бетона и растяжения арматуры. Чтобы определить, что быстрее достигает предельных деформаций — бетон или арматура, можно пользоваться следующим граничным значением сжатой зоны:

$$x_{R1*} = \frac{\varepsilon_{b,ult}}{\varepsilon_{b,ult} + \varepsilon_{s,ult}} h_0. \quad (14)$$

В том случае, если полученная высота сжатой зоны бетона x оказывается больше первого граничного значения x_{R1} , расчет производится по второй расчетной ситуации при напряжениях в растянутой арматуре меньше ее расчетного сопротивления



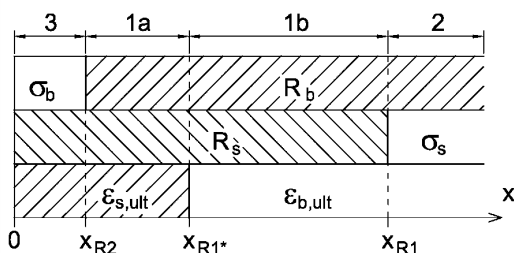


Рис. 6. Интервалы применимости расчетных величин в зависимости от высоты сжатой зоны бетона.

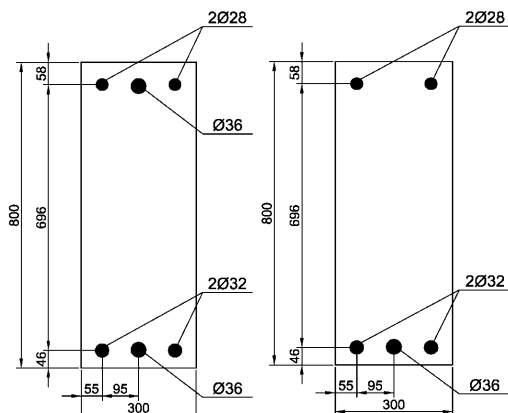


Рис. 7. Среднее и концевое поперечные сечения ригеля.

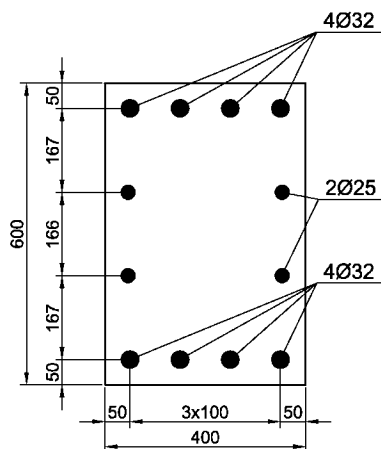


Рис. 8. Поперечное сечение колонны.

растяжению (рис. 6). Если же полученная высота x оказывается меньше второго граничного значения x_{R2} , то расчет совершается по третьей расчетной ситуации при напряжениях в бетоне сжатой зоны меньше его расчетного сопротивления сжатию ($x < x_{R2}$). Промежуточный интервал значений сжатой зоны бетона относится к первой расчетной ситуации. Значение x_{R1*} делит этот интервал на расчетные

ситуации 1a, соответствующей достижению растянутой арматурой предельных деформаций $\epsilon_{s,ult}$, и 1b, соответствующей достижению бетоном предельных деформаций $\epsilon_{b,ult}$. Значение x_{R1*} отвечает такому значению сжатой зоны бетона, при которой бетон и арматура одновременно достигают предельных состояний.

Первая расчетная ситуация квалифицируется как разрушение по бетону при напряжениях в растянутой продольной арматуре, которые равны расчетному сопротивлению арматуры растяжению. Вторая расчетная ситуация — разрушение по бетону при напряжениях в растянутой продольной арматуре, которые меньше расчетного сопротивления арматуры растяжению. Третья расчетная ситуация — разрушение по арматуре при напряжениях в бетоне, которые меньше расчетного сопротивления бетона сжатию.

Расчетная ситуация зависит от прочности бетона, арматуры и относительного содержания продольной арматуры в нормальном сечении $\mu_s = A_s / bh_0$ (процента армирования), значения продольного усилия в поперечном сечении. При средних значениях процента армирования реализуется первая расчетная ситуация, когда напряжения в бетоне и арматуре равны их расчетным сопротивлениям. При больших процентах армирования действует вторая расчетная ситуация, когда напряжения в арматуре не достигают своих расчетных сопротивлений. При малых процентах — третья расчетная ситуация, когда напряжения в бетоне не достигают расчетных сопротивлений.

Задавшись примерными значениями предельных деформаций, можно получить граничные значения сжатой зоны бетона в зависимости от h_0 . Так, для $\epsilon_{b,ult} = 0,0035$, $\epsilon_{b,el} = 0,0015$, $\epsilon_{s,ult} = 0,0250$ и $R_s / E_s = 0,0018$ получим $x_{R1} = 0,6593 h_0$, $x_{R1*} = 0,1228 h_0$ и $x_{R2} = 0,0566 h_0$.

3. ПРИМЕР ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА

В качестве такового рассмотрим поперечное сечение одного из типовых ригелей и колонну с симметричным армированием рамы промышленной этажерки. Размеры поперечных сечений приведены на рис. 7 и 8. Определим по приведенным выше расчетным формулам предельные

изгибающие моменты в вертикальной плоскости при растяжении нижних и верхних волокон. Условимся считать момент, вызывающий растяжение нижних волокон, положительным, а вызывающий растяжение верхних волокон — отрицательным.

Материал ригеля и колонны рамы: бетон В20, плотность 2400 кг/м^3 и коэффициент Пуассона $\mu = 0,2$. Нормативное значение сопротивления сжатию $R_{b,n} = 152,9 \text{ кг/см}^2$, расчетное значение сопротивления сжатию $R_b = 117,6 \text{ кг/см}^2$, нормативное значение сопротивления растяжению $R_{bt,n} = 13,8 \text{ кг/см}^2$, расчетное значение сопротивления растяжению $R_{bt} = 9,0 \text{ кг/см}^2$.

В расчете рассматривается двухлинейная диаграмма сжатия бетона с параметрами: $\varepsilon_{b1,red} = 0,0015$, $\varepsilon_{b2} = 0,0035$, $\varepsilon_{bt1,red} = 0,00008$ и $\varepsilon_{bt2} = 0,00015$.

Арматура: периодического профиля класса А400, модуль упругости $E_s = 2000000 \text{ кг/см}^2$, плотность 7850 кг/м^3 . Нормативное значение сопротивления растяжению $R_{s,n} = 4077,5 \text{ кг/см}^2$, расчетное значение сопротивления сжатию $R_s = 3618,0 \text{ кг/см}^2$ и $\varepsilon_{s2} = 0,025$.

Вычисленные граничные значения сжатой зоны бетона поперечных сечений приведены в таблице 1. Для среднего и концевого поперечного сечения ригеля указаны два граничных значения сжатой зоны, которые относятся к отрицательному и положительному изгибающему моменту. Для симметричного поперечного сечения колонны такой разницы, очевидно, нет.

Таблица 1
Величины граничных значений сжатой зоны бетона

Величина	Среднее и концевое поперечное сечение ригеля (см)	Поперечное сечение колонны (см)
x_{R1}	48,91/49,71	36,25
x_{R1*}	9,11/9,26	6,75
x_{R2}	4,20/4,27	3,11

Выполненные расчеты по определению предельных значений поперечных сечений

сведены в таблице 2. Для наглядности в ней также приводятся значение изгибающего момента трещиностойкости поперечного сечения, а также значение предельного момента при работе материала в диапазоне упругих деформаций.

Так, для среднего сечения предельное значение отрицательного изгибающего момента равно $-31,33 \text{ т·м}$. Расчетная ситуация — 1а, когда арматура достигает предельного состояния раньше бетона, в котором напряжения достигли расчетного сопротивления, а деформации меньше предельных значений. Предельное значение положительного изгибающего момента равно $65,29 \text{ т·м}$. Расчетная ситуация — 1б, когда бетон достигает предельного состояния раньше арматуры, в которой деформации меньше предельных значений. Если по методике, изложенной в [1], определить ручным расчетом положительный предельный момент с некоторой погрешностью не составит труда, то для вычисления отрицательного момента используемая формула даст отрицательное значение сжатой зоны бетона. В то же время не реализуется расчетная ситуация, когда арматуры верхняя и нижняя достигают расчетных сопротивлений растяжению R_s и сжатию R_{sc} .

Из приведенных табличных данных следует, что расчетные ситуации для поперечного сечения одинаковы. Разница заключается в размерах сжатой зоны. Как и в случае, рассмотренном выше, без определения деформаций арматуры вычислить напряжения в стержнях не представляется возможным. На рис. 9 и 10 приведены поперечные сечения с геометрическими размерами сжатой зоны бетона для разных значений предельных моментов.

Ради сопоставления можно привести результаты ручного расчета по определению предельного изгибающего момента при отсутствии продольного усилия.

Так, предполагая (из опыта проектирования), что напряжения во втором ряде арматуры меньше расчетного сопротивления растяжению, а напряжения в остальных рядах арматуры достигают расчетного сопротивления на растяжение и сжатие, можно получить высоту сжатой зоны бетона $7,55 \text{ см}$. При этом считаем эпюру нормальных напряжений прямоугольной. Значение предельного изгибающего мо-



Таблица 2

Расчетные значения изгибающих моментов ригеля и колонны

Изгибающий момент	Среднее поперечное сечение ригеля	Концевое поперечное сечение ригеля	Поперечное сечение колонны
Размерность	т·м	т·м	т·м
M_{crc}^{-}	– 10,16	– 12,00	– 10,64
M_{crc}^{+}	12,62	12,80	10,64
M_{el}^{-}	– 30,62	– 54,66	– 61,29
M_{el}^{+}	60,46	63,63	61,29
M_{ult}^{-}	– 31,33 (ситуация 1а)	– 56,77 (ситуация 1а)	– 73,15 (ситуация 1b)
M_{ult}^{+}	65,29 (ситуация 1b)	66,41 (ситуация 1b)	73,15 (ситуация 1b)

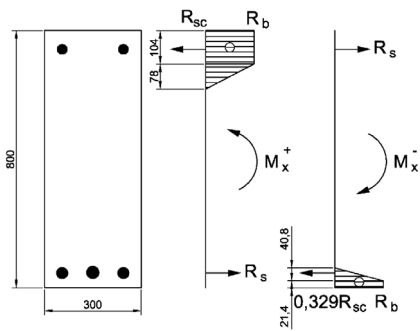


Рис. 9. Среднее поперечное сечение ригеля.

мента, подсчитанное по формуле из [1], оказывается равным 70,44 т·м. В то же время остаются неопределенными напряжения во втором ряду арматуры сверху.

Более точный расчет позволяет определить напряжения во всех стержнях арматуры и дает значение предельного момента, отличающееся в большую сторону на 3,7%. Разница объясняется как неучетом продольного усилия во втором сверху ряду арматуры, так и отличием эпюры напряже-

ний сжатого бетона. Эпюра эта состоит из прямоугольной части высотой 9,19 см и треугольной – высотой 6,90 см.

Проследим как меняется значение предельного изгибающего момента и расчетная ситуация для поперечного сечения колонны от значения нормальной силы. На рис. 12 приведена зависимость предельного изгибающего момента для поперечного сечения колонны от величины сжимающей силы. При увеличении растягивающей силы значение предельного момента уменьшается, и расчет со стадии 1b переходит к стадии 1а. Если для расчетной ситуации 1b предельное состояние определялось предельными деформациями бетона, то в ситуации 1а – предельными деформациями арматуры.

Для второй расчетной ситуации 2, как уже отмечалось, напряжения в арматуре не достигают расчетного сопротивления. Предельное состояние конструкции определяется предельным состоянием бетона. С уменьшением сжимающей силы расчет-

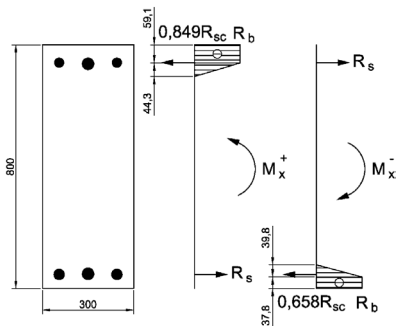


Рис. 10. Концевое поперечное сечение ригеля.

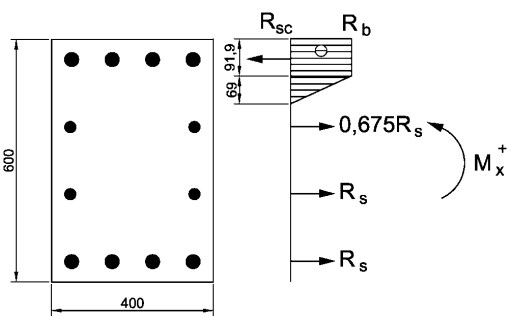


Рис. 11. Поперечное сечение колонны.

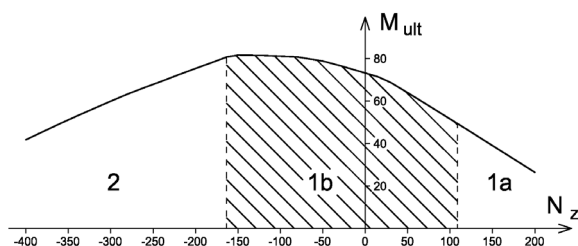


Рис. 12. Зависимость предельного изгибающего момента поперечного сечения от продольного усилия.

ная стадия 1b переходит в стадию 2. Как видно из приведенного графика, наибольшего значения предельный изгибающий момент достигает в диапазоне изменения сжимающей силы от 50 до 150 т.

ВЫВОДЫ

Приведенный в [1] упрощенный подход применим в случаях, когда предельное состояние может быть определено до расчета, что соответствует или типу поперечных сечений, или случаю тривиального армирования сечения. Ручной расчет предполагает свой ряд допущений, касающихся арматуры в сжатой зоне и промежуточной арматуры, размещаемой ближе к нейтральной линии. К таким допущениям относится предположение, что верхняя арматура достигает расчетного сопротивления сжатию. Влияние арматуры на предельные значения изгибающих моментов может оказаться и несущественным, однако на практике для подтверждения этого требуется компетентная количественная оценка.

Несколько искусственным выглядит расчет элементов с симметричным поперечным сечением и армированием. Предложенный обобщенный подход, основы

которого изложены в [2], лишен подобных недостатков. Он одинаково применим для расчета железобетонных элементов, подверженных растяжению/сжатию, изгибу и внецентровому сжатию с небольшими эксцентриситетами. Однако не всегда это требует использования специальных расчетных программ. В большинстве случаев можно ограничиться полуавтоматическим расчетом с помощью электронных таблиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 52–101–2003 Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры, – М., 2004.
2. Краткие заметки о расчете железобетонных конструкций на действие изгибающих моментов и продольных сил/НИИЖБ – филиал ФГУП НИЦ «Строительство», М., 2008.
3. Габрусенко В. В. Некоторые особенности проектирования железобетонных конструкций по новым нормам, //Проектирование и строительство в Сибири. – Новосибирск, 2009.
4. Бондаренко В. М., Бакиров Р. О., Назаренко В. Г., Римшин В. И. Железобетонные и каменные конструкции: Учебник. – М.: Высшая школа, 2004.
5. Бондаренко В. М., Римшин В. И. Примеры расчета железобетонных и каменных конструкций: Учеб. пособие. – 2-е изд., – М.: Высшая школа, 2007.
6. Mosley W., Bungey J. H., Hulse R. Reinforced concrete Design. fifth ed., Macmillan press LTD, Hampshire, 1999.

ON DESIGNING OF REINFORCED CONCRETE INSTALLATIONS

Lukyanov, Mikhail A. – Ph. D. (Tech), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

Lukyanova, Anna A. – assistant lecturer at the department of classical mechanics of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

The authors study the problem of defining limit bending moment of reinforced concrete cross section, taking into account the longitudinal stress and using double line diagram of concrete and reinforcement state. A generalized approach towards computation of installations is considered as impeccable if compared to previously recommended techniques.

Key words: transport construction, reinforced concrete, limit moment, double line diagram of the state, reinforcement.

Координаты авторов (contact information): Лукьянов М. А. – lukyanovmihail@mail.ru, Лукьянова А. А. – lukyanovaanna@mail.ru.

