

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Владимирский государственный университет  
Кафедра строительных конструкций

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ИЗУЧЕНИЮ РАЗДЕЛА  
«ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ»  
КУРСА «КОНСТРУКЦИИ ГОРОДСКИХ ЗДАНИЙ  
И СООРУЖЕНИЙ»

Составители:  
В.В. МИХАЙЛОВ  
В.И. ВОРОНОВ

Владимир 2009

УДК 624.012.3/4  
ББК 38.53  
М54

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент  
зав. кафедрой строительных конструкций  
Владимирского государственного университета

*С.И. Рощина*

Печатается по решению редакционного совета  
Владимирского государственного университета

**Методические** указания к изучению раздела «Железобетон-  
М54 ные конструкции» курса «Конструкции городских зданий и со-  
оружений» / Владим. гос. ун-т ; сост. : В. В. Михайлов, В. И. Во-  
ронов. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. – 32 с.

Содержат рекомендации к изучению раздела «Железобетонные конструк-  
ции» дисциплины «Конструкции городских зданий и сооружений», в котором  
рассматриваются следующие основные темы: бетон и железобетон, основные  
свойства, основные правила армирования; расчет и конструирование железобе-  
тонных и каменных конструкций; одноэтажные и многоэтажные здания, основ-  
ные конструкции, особенности применения и проектирования.

Предназначены для студентов 3-го курса дневной и заочной форм обучения  
специальности 270105 – городское строительство и хозяйство.

Табл. 2. Ил. 3. Библиогр.: 10 назв.

УДК 624.012.3/4  
ББК 38.53

## Введение

*Настоящие методические указания составлены в соответствии с программой курса «Конструкции городских зданий и сооружений» для изучения одного из разделов – «Железобетонные и каменные конструкции» специальности 270105 – городское строительство и хозяйство. При написании работы учтено небольшое количество часов на преподавание этой дисциплины и введение заочной формы обучения студентов этой специальности.*

*При изучении раздела «Железобетонные и каменные конструкции» студенты сталкиваются с определенными трудностями, которые связаны с тем, что одновременно с теорией необходимо параллельно выполнять курсовой проект. Как правило, студенты к этому моменту не имеют опыта проектирования железобетонных и каменных конструкций, расчеты которых во многом специфичны и базируются на экспериментальной основе. Без ознакомления с экспериментальными основами теории железобетона трудно понять расчетный механизм конструкций, испытывающих различные внутренние усилия от силовых воздействий. По мере возможности авторы постарались помочь разобраться с приемами расчета изгибаемых, сжатых и растянутых элементов.*

*Другая сложность состоит в своеобразии приемов конструирования железобетонных и каменных конструкций при компоновке конструктивной схемы зданий с учетом основных принципов стандартизации, унификации, экономики. Кроме того, требуется освоение автоматизации проектирования с использованием программных комплексов и машинной графики. Настоящие методические указания призваны оказать помощь студентам-заочникам при изучении данного раздела курса.*

## **1. Введение в железобетон**

Вопросы вводной части курса подробно изложены в [1, 2, 3, 6, 8]. Прежде всего, необходимо уяснить сущность железобетона, принцип размещения арматуры и цель применения ее в изгибаемых, сжатых и растянутых элементах. От знания этих вопросов в дальнейшем зависит понимание принципов расчета сечений на прочность.

Необходимо знать преимущества и недостатки железобетона с ненапрягаемой, напрягаемой арматурой и смешанным армированием.

Уделить внимание истории развития железобетона, особенно советской школы расчета и конструирования, занимающей лидирующее положение, четко уяснить понятия и терминологию в области железобетона.

Изучать курс рекомендуется активно, с карандашом в руках, воспроизводя армирование, расчетные схемы и составляя алгоритмы расчета.

### Вопросы для самоконтроля

- 1. Основные задачи в области капитального строительства (применительно к железобетонным конструкциям).*
- 2. Назначение арматуры в железобетоне и его основные виды.*
- 3. Преимущества и недостатки железобетона с ненапряженной и преднапряженной арматурой.*
- 4. Современные области применения железобетона.*

## **2. Свойства бетона, арматуры и железобетона**

При изучении этого раздела следует обратить внимание на новые термины и понятия (классы бетона и арматуры): изменение прочности бетона во времени; причины усадки, ее негативные последствия и меры по уменьшению таковых; ползучесть бетона, деформативные свойства бетона при кратковременном испытании, прочностные и реологические свойства арматурной стали.

Следует уяснить вопрос о предельных деформациях бетона при сжатии и растяжении и о влиянии этих свойств на трещиностойкость железобетона и использование сжатой арматуры [2].

#### Вопросы для самоконтроля

1. По каким признакам бетоны разделяют на тяжелые, легкие, ячеистые, полимерцементные? Их основные преимущества и области применения.

2. Какова структура бетона и как она влияет на напряженное состояние бетона?

3. Что понимается под классом бетона и призмочной прочностью? Классы бетона, применяемые в строительстве.

4. Предельная растяжимость и сжимаемость бетона; их влияние на работу бетонных и железобетонных конструкций.

5. Влияние времени и температурно-влажностных условий на прочность бетона.

6. Упругие и пластические свойства бетона при кратковременном нагружении, характер (вид) диаграммы « $\sigma - \epsilon$ » (нарисуйте).

7. Что такое усадка бетона? Факторы, влияющие на величину усадки.

8. Что такое ползучесть бетона?

9. Влияние усадки и ползучести на работу (поведение) железобетонных конструкций.

10. Сцепление арматуры и бетона; факторы, определяющие его. Почему необходимо обеспечивать надежную анкеровку арматуры? Методы ее обеспечения.

11. Арматура и арматурные изделия, способы стыковки отдельных стержней.

12. На примерах балки и колонны покажите рабочую и монтажную арматуры.

13. Классификация арматуры.

14. Нарисуйте диаграммы « $\sigma - \epsilon$ » для различных арматурных сталей, укажите характерные точки.

15. *Классы арматур и применение их в железобетонных конструкциях.*

16. *Коррозия железобетона и меры защиты от нее.*

17. *Назначение и минимальные толщины защитного слоя.*

### **3. Экспериментальные основы теории железобетона**

Теория сопротивления железобетона строится на экспериментальных данных и законах механики, моделируя действительное напряженно-деформированное состояние элементов на различных стадиях загрузки. Степень отражения действительной работы соответствует уровню развития теории. Особо важно понять стадии напряженно-деформированного состояния изгибаемых, внецентренно сжатых и растянутых элементов при возрастании внешнего усилия до разрушающей величины. Эти стадии положены в основу расчета сечения железобетонных элементов.

В нашей стране расчет железобетонных конструкций ведется по методу предельных состояний. Обратите внимание на основные предпосылки метода, цели расчета по первой и второй группам предельных состояний, нормативные и расчетные характеристики сопротивления бетона и арматуры, систему расчетных коэффициентов, преимущества метода расчета по предельным состояниям.

Общие условия непревышения предельного состояния имеют вид:

$$\psi(F_p, R_p, \gamma_n, \gamma_d, C) \geq 0, \quad (1)$$

где  $\psi$  – функция соответствующих параметров,  $F_p$  – усилие от расчетных нагрузок,  $R_p$  – расчетное сопротивление материала,  $\gamma_n$  – коэффициент безопасности в зависимости от ответственности (важности) сооружения,  $\gamma_d$  – коэффициент условия работы,  $C$  – постоянные, включающие расчетные ограничения.

Для первой группы предельных состояний усилие в конструкции не должно превышать несущей способности

$$\gamma_n \gamma_f F_n A(v_i) \leq \frac{R_m}{\gamma_m} \gamma_d B(\delta_i), \quad (2)$$

где  $F_n$ ,  $F_p$  – усилие от соответственно нормативных и расчетных нагрузок;  
 $\gamma_f$  – коэффициент безопасности по нагрузке;  
 $\gamma_n$  – коэффициент безопасности в зависимости от ответственности (важности) сооружения;

$A(vi)$  – функция характеристик конструкций;  
 $R_m, R_p$  – соответственно нормативное и расчетное сопротивления материала;

$\gamma_m$  – коэффициент надежности по материалу;

$\gamma_d$  – коэффициент условия работы;

$C$  – постоянные, включающие расчетные ограничения согласно (1) (прогибы, углы поворота, ширина раскрытия трещин и т.п.):

$$\gamma_n \Psi(F_{pi}, R_p, \gamma_d) \leq C, \quad (3)$$

где  $\Psi$  – функция соответствующих параметров.

Левая часть (3) может представлять собой прогиб, угол поворота, раскрытие трещин. Правая часть – предельно допустимые значения этих величин. Суть расчета по методу предельных состояний состоит в проверке предельных неравенств, выполнение которых обеспечивает надежность конструкций и сооружений.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Основные особенности каждой из трех выделяемых стадий напряженно-деформированного состояния при изгибе.

2. Могут ли изгибаемые (растянутые) железобетонные элементы в стадии эксплуатации работать с трещинами? Причины их появления.

3. Основные положения и особенности расчета по методу предельных состояний (ПС). Что понимается под ПС?

4. Какова цель расчета по 1-й и 2-й группам ПС?

5. Почему ограничивается ширина раскрытия трещин или их образование, а также прогибы конструкции?

6. Что понимается под граничной высотой сжатия бетона?

7. Предельный процент армирования.

#### 4. Расчет и конструирование изгибаемых железобетонных элементов

Изгибаемые железобетонные конструкции применяют наиболее широко в промышленном, гражданском и транспортном строительстве. Поэтому важно понять принципы и овладеть техникой расчета прочности нормальных и наклонных сечений, уметь выводить основные условия прочности на основе расчетных схем сечений.

Затруднения, которые встречаются при выводе формул расчета прочности нормальных сечений, являются следствием:

- а) неправильного (неаккуратного) выполнения расчетной схемы сечения согласно основным предпосылкам;
- б) неточного расчета и неполного учета его предпосылок;
- в) отсутствия систематизированных знаний по этому вопросу.

Поэтому студенту-заочнику необходимо обратить внимание на основные предпосылки расчета (допущения), расчетную схему и общий подход при выводе условий прочности (расчетных формул) нормальных сечений прямоугольных, тавровых сечений с одиночной и двойной арматурой изгибаемых элементов, а также сжатых и растянутых.

Сущность расчета по первой группе предельных состояний состоит в том, что прочность сечения обеспечена, если внешнее усилие от расчетных нагрузок не превышает суммы внутренних усилий относительно той же оси, то есть усилия, воспринимаемого сечением при расчетных сопротивлениях материалов. Суть расчета по методу предельных состояний состоит в проверке предельных неравенств, соблюдение выполнения которых обеспечивает надежность конструкции.

Принцип вывода формул расчета прочности рассмотрим на примере сечения изгибаемого элемента прямоугольного профиля с одиночной арматурой.

В основу расчета положена третья стадия напряженно-деформированного состояния; эпюра нормальных напряжений в сжатой зоне принимается равномерной; сопротивление растянутого бетона равно нулю; напряжения в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре равны расчетным сопротивлениям (рис. 1). Условия прочности выводятся из условий равновесия. В расчетной схеме сечения действует изгибающий момент  $M$ , вычисляемый при расчетных нагрузках, в арматуре и сжатой зоне бетона равнодействующие напряжений соответственно равны  $F_s$  и  $F_l$ , определяемые при напряжениях, равных расчетным сопротивлениям, если  $\xi \leq \xi_R$ , то  $\sigma_s = R_s$ ;  $\sigma_b = R_b$ , где  $\xi_R$  – граничное значение относительной высоты сжатой зоны, которое соответствует достижению предельных напряжений в бетоне и арматуре одновременно.

Условия равновесия:  $\sum X = 0$ ;  $\sum M_{1-1} = 0$ ;  $\sum M_{2-2} = 0$ .

Прочность достаточна, если  $M \leq M_{сеч}$ .

Общее для всех случаев вывода условий прочности: сумма моментов внешних и внутренних сил берется относительно оси, проходящей через точку приложения равнодействующей во всей растянутой арматуре или точку приложения равнодействующей нормальных напряжений в сжатой зоне «0» (см. рис. 1, оси 1 – 1 и 2 – 2).

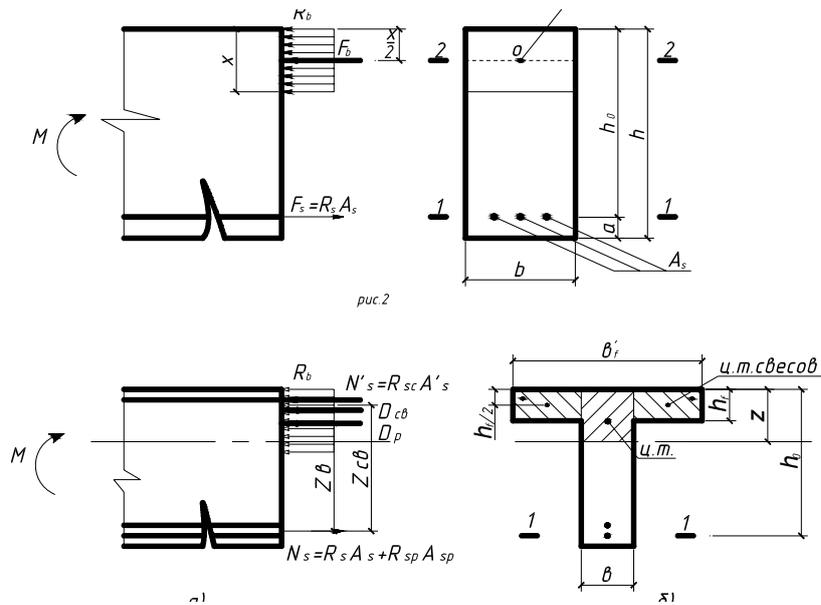


Рис. 1. Расчетная схема нормативных сечений изгибаемых элементов

Условия равновесия и соответственно условия прочности:

$$\sum M_{1-1} = 0, \quad M - R_b b x (h_0 - 0,5x) = 0 \rightarrow M \leq R_b b x (h_0 - 0,5x);$$

$$\sum M_{2-2} = 0, \quad M - R_s A_s (h_0 - 0,5x) = 0 \rightarrow M \leq R_s A_s (h_0 - 0,5x);$$

$$\sum X = 0, \quad R_b b x - R_s A_s = 0,$$

где  $F_b = R_b b x$  – равнодействующая нормальных напряжений в сжатой зоне;  $F_s = R_s A_s$  – то же в растянутой арматуре.

Выражение  $z_1 = h_0 - 0,5x$  называют плечом внутренней пары сил (см. рис. 1)  $R_b b x$  и  $R_s A_s$ .

$$\text{Высота сжатой зоны} \quad x = \frac{R_s A_s}{R_b b}.$$

Второе принципиальное положение, отражающее особенность двух случаев разрушения нормальных сечений, состоит в том, что полученные условия справедливы, если  $\xi = \frac{x}{h_0} \leq \xi_R$  – разрушение начинается с достижения в арматуре предела текучести физического и условного. Иначе  $\xi = \frac{x}{h_0} \rightarrow \xi_R$  – напряжения в арматуре не достигают предельных значений, так как разрушение сечения происходит по бетону сжатой зоны. Следовательно, напряжения в рабочей арматуре не могут быть приняты равными расчетным сопротивлениям.

В случае  $\xi \geq \xi_R$  условия равновесия получают вид:

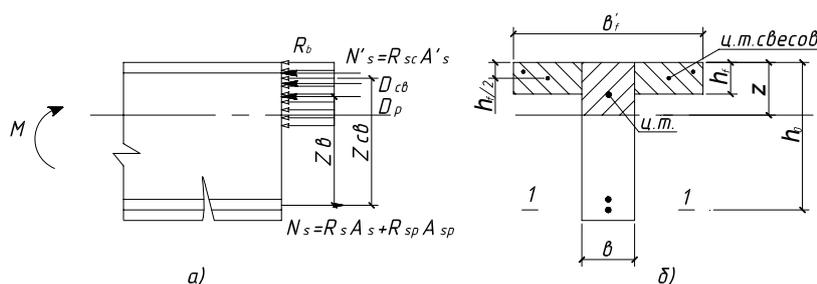
$$M - R_b b x (h_0 - 0,5x) = 0,$$

$$M - \sigma_x A_s (h_0 - 0,5x) = 0,$$

$$R_b b x - \sigma_s A_s = 0.$$

Для решения этих уравнений необходимо дополнительное условие (уравнение), которое дается в нормах в виде функции  $\sigma_s = f(\xi)$ .

Аналогично получены расчетные формулы для других случаев изгиба, сжатия и растяжения. Например, тавровое сечение с полкой в сжатой зоне – случай, когда нейтральная ось пересекает ребро и имеется арматура в сжатой зоне (элемент с двойной арматурой); расчетная схема усилий имеет вид, показанный на рис. 2.



$$z_{cb} = h_0 - 0,5h'_f; \quad z_b = h_0 - 0,5x; \quad z_s = h_0 - a'$$

Рис. 2. Расчетная схема нормального сечения таврового профиля:  
а – элемент балки; б – нормальное сечение балки

Аналогично: сечение находится в равновесии, следовательно, сумма моментов всех сил внешних и внутренних, имеющих на схеме (рис. 2, а), равна нулю. Ось, относительно которой берется сумма моментов, выбирается так, чтобы часть или одна из сил не давала момента. Такой является ось 1 – 1, проходящая через центр тяжести растянутой арматуры:

$$M - M_{on} = 0,$$

$$M - R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_b (b_f - b) h_f' (h_0 - 0,5h_f') + A_s' R_{sc} (h_0 - a) = 0.$$

Условие прочности  $M \leq M_{on}$ .

Надо обратить внимание, что полученные формулы (как и расчетная схема) справедливы, если  $\xi \geq \xi_R$ . Высота сжатой зоны определяется из условия  $\sum X = 0$  – сумма проекций всех сил на продольную ось элемента равна нулю.

Элементы напрягаемой арматуры рассчитываются аналогично, а особенность работы высокопрочной напрягаемой арматуры учитывается коэффициентом условия ее работы  $\gamma_{s6}$  [2].

Величина и знак напряжения в напрягаемой арматуре, расположенной в сжатой зоне, определяются продольными деформациями окружающего бетона, с учетом произошедших потерь и преднапряжения [2].

Разрушение изгибаемых элементов может происходить по наклонным сечениям. Поэтому чтобы при проектировании обеспечить их прочность по поперечной силе  $Q$  и изгибающему моменту  $M$ , рассчитывают эти сечения на опорах. Вывод условий прочности наклонных сечений аналогичен условиям нормальных сечений с учетом некоторых особенностей работы. Используя расчетные формулы, составляют алгоритмы расчета сечений, блок-схемы [8] и программы расчета на ЭВМ.

Вывод формул расчета прочности изгибаемых, растянутых и сжатых элементов сводится к следующей логической последовательности:

1. Анализируется известный из опытов характер работы и разрушения элемента.

2. В основу расчета принимается III стадия напряженно-деформированного состояния.

3. Формулируются основные предпосылки (упрощения), которые, моделируя действительное состояние, отбрасывают второстепенные факторы.

4. На основе предпосылок составляется расчетная схема сечения с действующими усилиями.

5. Записываются условия равновесия, далее условия прочности, и выводятся формулы для практических расчетов.

Подчеркнем, что степень отражения действительной работы сечения (элемента) зависит от уровня развития теории и постановки задачи.

Студенту-заочнику необходимо научиться выполнять практически расчет поперечной арматуры с учетом конструктивных требований норм [1].

Следует уделить внимание конструированию изгибаемых элементов с использованием сварных и гнутых каркасов, сеток, учитывая требования технологичности, экономии стали, снижения энергозатрат.

Теоретические знания закрепляются при выполнении курсового проекта № 1 и по вопросам самопроверки.

Метод расчета согласно действующим нормам совершенствуется по мере развития теории и накопления опытных данных. В частности, действительная диаграмма напряжения – деформации криволинейная, следовательно, и эпюра нормальных напряжений в сжатой зоне имеет криволинейный характер.

Работы, развивающие теорию расчета, принимают ту или иную диаграмму связи « $\sigma - \epsilon$ » для бетона и стали, что позволяет определить состояние конструкции на любом этапе, повысить точность расчета прочности.

При проектировании или усилении конструкций инженер решает практические задачи. В табл. 1, 2 приведены основные задачи, алгоритмы их решения с указанием исходных данных и параметров, которые требуется определить.

## Алгоритмы решения задач

Задача	Исходные данные и требования	Алгоритмы решения
1. Расчет по нормальным сечениям изгибаемого элемента	Размеры: $b$ и $h$ , класс бетона и арматуры, изгибающий момент. Определение $A_S$ и $A'_S$	<p>1. <math>\omega = 0,85 - 0,008R_b</math>; <math>\sigma_{scu} = 400</math> МПа, если <math>\gamma_{b2} \geq 1</math>; <math>\sigma_{scu} = 500</math> МПа, если <math>\gamma_{b2} &lt; 1</math>; <math>\xi_r = \omega / (1 + R_b(1 - \omega / 1,1) / \sigma_{scu})</math>;  <math>A_R = \xi_r(1 - 0,5\xi_r)</math>; <math>M_R = A_R b h_0^2 R_b \gamma_{b2}</math>  Если <math>M_R &gt; M</math>, сжатая арматура требуется по расчету.  Если <math>M_R \leq M</math>, сжатая арматура не требуется, переходим к п. 2:  <math>A'_S = (M - M_R) / R_{sc}(h_0 - a)</math>; по сортаменту;  <math>A_0 = (M - R_{sc} A'_S (h_0 - a)) / R_b b h_0^2</math>;  <math>\xi = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}</math>; <math>A_S = (\xi R_b b h_0 + A'_S R_{sc}) / R_s</math>  2. <math>A_0 = M / R_b b h_0^2</math>; <math>\eta = 0,5(1 + \sqrt{1 - 2A_0})</math>;  <math>A_S = M / \eta R_s h_0</math></p>
2. Подбор поперечной арматуры	Размеры: $b$ и $h$ , класс бетона и арматуры, поперечная сила $Q$	<p>1. Конструктивные требования: диаметр <math>d_{sw} \geq 0,25d_{\text{прод}}</math>; шаг поперечной арматуры <math>S</math> на опоре <math>l_l = l / 4</math> при <math>h \leq 450</math> мм – не более <math>h / 2</math> и не более 150 мм; при <math>h &gt; 450</math> мм – не более <math>h / 3</math> и не более 500 мм.</p> <p>2. Проверка размеров сечения:  <math>Q \leq 0,3\varphi_{w1}\varphi_{b1}R_b b h_0</math>, где <math>\varphi_{w1} = 1 + 5\alpha\mu_w \leq 1,3</math>;  <math>\alpha = E_s / E_b</math>; <math>\mu_w = A_{sw} / bs</math>; <math>\varphi_{b1} = 1 - 0,01R_b</math>.  При невыполнении условия увеличиваем размеры сечения или класс бетона.</p> <p>3. Проверка необходимости постановки поперечной арматуры:  <math>Q \leq Q_{b,min} = 0,6(1 + \varphi_f + \varphi_n)R_{bt} b h_0</math>, где  <math>\varphi_f = 0,75(b_f - b)h_f / b h_0 \leq 0,5</math>;  <math>b_f \leq b + 3h_f</math>;  <math>\varphi_n = 0,1N / R_{bt} b h_0 \leq 0,5</math>; <math>(1 + \varphi_f + \varphi_n) \leq 1,5</math>.  При выполнении условия поперечная арматура ставится конструктивно (п. 1). При невыполнении условия переходим к п. 4.</p> <p>4. Усилие в хомутах на единицу длины элемента:  <math display="block">q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw} 100}{S} \geq 0,6(1 + \varphi_f + \varphi_n)R_{bt} b / 2</math>  Проекция опасной трещины:  <math>C_0 = \sqrt{\varphi_{e2}(1 + \varphi_f + \varphi_n)R_{bt} b h_0^2 / q_{sw}}</math>;  <math>h_0 \leq C_0 \leq 2h_0</math>.</p>

Задача	Исходные данные и требования	Алгоритмы решения
		<p>Несущая способность элемента, армированного конструктивно:  <math>Q_{swb} = q_{sw}c + Q_b \geq Q</math>, где  <math>Q_b = 2(1 + \varphi_f + \varphi_n)R_{bt}bh^2_0 / C \geq Q_{b,min}</math>.          Если условие не выполняется, то уменьшается <math>S</math> или увеличивается <math>A_{sw}</math>, и расчет повторяется с п. 4.</p>
3. Расчет вне-центренно сжатого элемента	<p>Размеры: <math>b</math> и <math>h</math>, ширина и высота элемента, класс бетона и арматуры, изгибающий момент и продольная сила. Сечение прямоугольное.</p>	<p>1. Определяется эксцентриситет силы:          – случайный: <math>e_{cl} = \max(h / 30; l_0 / 600; \text{но не менее } 1 \text{ см})</math>;          – расчетный: <math>e_0 = (M / N) + e_{cl}</math> – статически определимая конструкция; <math>e_0 = \max(M / N; e_{cl})</math> – статически неопределимая конструкция.          Учет влияния продольной силы: при <math>l_0 / h \leq 10</math> принять <math>\eta = 1</math> и перейти к п. 3; при <math>l_0 &gt; h</math> определить <math>\eta</math> по п. 2.  <math>2. \eta = 1 / (1 - N / N_{cr})</math>,          где <math>N_{cr} = 6,4E_b / l_0 [Y / \varphi_l (0,11 / (0,1 + \delta_e) + 0,1) + \alpha Y_s]</math>,  <math>Y = bh^3 / 12</math>; <math>\varphi_l = 1 + M_l / M</math>;  <math>\delta_e = \max(l_0 / h; 0,5 - 0,01 \cdot l_0 / h - 0,01R_b)</math>; <math>\alpha = E_s / E_b</math>;  <math>Y_s = bh_0 0,015(0,5h - a)^2</math>.          3. Расчетный эксцентриситет: <math>e = e_0 \eta + 0,5h - a</math>.          Если <math>e_0 \leq 0,3h_0</math> – армирование симметричное (п. 4);          при <math>e_0 &gt; 0,3h_0</math> – армирование несимметричное (п. 5).          4. Площадь арматуры (армирование симметричное):  <math>A_S = A'_S = (N(e - h_0) + N/2R_b b) / R_{sc}(h_0 - a)</math>          5. Площадь сжатой арматуры:  <math>A'_S = (Ne - A_R R_b b h^2_0) / R_{sc}(h_0 - a)</math>, где  <math>A_R = \xi_r (1 - 0,5\xi_r)</math>;  <math>\xi_r = \omega / (1 + R_{sc}(1 - \omega / 1,1) / 400)</math>;  <math>\omega = 0,85 - 0,008R_b</math>          6. Конструктивная площадь сжатой арматуры:          при <math>l_0 / h &lt; 5</math> <math>\psi A_{SK} = 0,0005bh_0</math>;          при <math>5 \leq l_0 / h \leq 10</math> <math>\psi A_{SK} = 0,001 bh_0</math>;          при <math>10 \leq l_0 / h \leq 24</math> <math>\psi A_{SK} = 0,002b \cdot h_0</math>;          при <math>l_0 / h &gt; 24</math> <math>\psi A_{SK} = 0,0025bh_0</math>.          7. Уточняется значение <math>A_0</math> по принятому <math>A'_S</math>:  <math>A_0 = (Ne - A'_S R_{sc}(h_0 - a)) / R_b \gamma_{b2} b h_0^2</math>  <math>\xi = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}</math>.          Требуемая площадь растянутой арматуры:  <math>A_S = (\xi R_b b h_0 - N) / R_s + A'_S R_{sc} / R_s</math>          Окончательно площадь принимается не менее требуемой конструктивно по п. 6.</p>

Таблица 2

## Исходные данные

Вариант	Ширина сечения, см	Высота сечения, см	Длина, м	Класс бетона	Класс арматуры	Сила N, кН	Сила N <sub>e</sub> , кН	Момент M, кН·м	Момент M <sub>e</sub> , кН·м
1	40	80	4,8	B25	A300	1020	450	540	270
2	20	40	9,6	B15	A400	840	200	630	400
3	30	60	6,4	B25	A300	750	600	230	200
4	35	70	6,2	B30	A400	500	300	440	200
5	25	50	10,4	B35	A300	1600	1000	580	300
6	45	90	11,0	B15	A400	960	900	600	400
7	55	110	6,0	B25	A300	2100	1500	270	120
8	15	30	8,8	B20	A400	1300	300	320	220
9	20	45	6,4	B30	A300	1800	800	510	340
10	25	55	5,6	B15	A400	800	300	550	200
11	40	85	5,8	B20	A300	900	200	600	440
12	30	65	8,3	B25	A400	1500	400	300	120
13	35	65	11,5	B30	A300	3500	2000	1000	880
14	50	100	12,0	B35	A400	1200	1000	200	100
15	40	75	5,7	B40	A300	2000	1000	800	440
16	15	35	9,0	B20	A400	860	800	1080	980
17	25	45	6,4	B15	A300	1000	300	900	700
18	30	65	5,9	B25	A400	1080	1000	800	400
19	40	75	9,2	B30	A400	1180	500	600	200
20	50	95	8,6	B20	A300	1200	600	300	100
21	35	80	9,9	B15	A400	1160	800	350	150
22	25	55	8,1	B20	A300	800	300	420	120
23	15	40	7,3	B25	A400	600	400	620	140
24	40	90	9,5	B30	A300	400	200	580	140
25	30	70	8,7	B35	A400	900	600	300	210

## Вопросы для самоконтроля

1. В чем принципиальное различие двух схем (случаев) разрушения изгибаемых элементов по нормальным сечениям?
2. Как это отражается в расчете прочности нормальных сечений?
3. Как определить несущую способность изгибаемого элемента таврового профиля с одиночной арматурой, если все данные о сечении известны?
4. Как определить продольную рабочую арматуру балки с ненапрягаемой арматурой при известных  $M$ ,  $b$ ,  $h$ ,  $R_s$ ,  $R_b$ ?
5. Напишите условие, при котором тавровое сечение может рассчитываться как прямоугольное.
6. Опишите схемы разрушения изгибаемых элементов по наклонным сечениям.
7. Физический смысл характеристики  $\xi_R$ .
8. Суть расчета прямоугольного сечения с помощью вспомогательной таблицы.
9. Какая стадия напряженно-деформированного состояния положена в основу расчета прочности?
10. Что означает термин (понятие) «сечение с двойной арматурой»?
11. Какие конструктивные требования необходимо соблюдать при проектировании элементов с двойной арматурой?
12. Какова оценка расхода арматурной стали в элементах с двойной арматурой?
13. Два случая расчета тавровых сечений.
14. Выведите формулы расчета прочности сечений изгибаемых элементов прямоугольного, затем таврового профилей с одиночной и двойной арматурой.
15. При каком условии полученные в п. 14 формулы справедливы?
16. Запишите условия прочности по поперечной силе и моменту.
17. В каких случаях предусматриваются отгибы?

18. Составьте алгоритм или блок-схему определения требуемой площади рабочей арматуры для прямоугольного или таврового сечения, если размеры сечения заданы.

19. То же, если не заданы размеры сечения.

20. Критерий, разграничивающий 1-й и 2-й случаи внецентренного сжатия.

21. Выведите условия прочности для случая больших и малых эксцентриситетов в сжатых элементах прямоугольного профиля.

22. Общие предпосылки расчета прочности при 1-м и 2-м случаях внецентренного сжатия.

23. В чем различие этих двух случаев.

24. Как учитывать гибкость при расчете внецентренного сжатия элементов?

25. Назначение хомутов в сжатых элементах.

26. Расчет прочности центрально-растянутых элементов.

27. В каких случаях применяют косвенное армирование?

28. Составьте алгоритм проверки прочности сжатого элемента прямоугольного профиля (1-й случай).

## 5. Расчет и конструирование сжатых и растянутых элементов

Приступая к изучению этого раздела, рассмотрите наиболее простые случаи работы указанных конструкций: условно центрально-сжатые и центрально-растянутые. Вывод расчетных формул (условий прочности) по первой группе предельных состояний также осуществляется на основе анализа третьей стадии напряженно-деформированного состояния, которая положена в основу расчета прочности.

Для центрально-растянутых элементов это означает, что их прочность определяется только сопротивлением арматуры, так как в бетоне образовались трещины, нормальные к продольной оси (рис. 3, а).

Основные предпосылки расчета те же, что и для изгибаемых элементов. Спроектировав все силы на продольную ось элемента, получим:

$$N - R_s A_s = 0 \quad \text{или} \quad N \leq R_s A_s, \quad A_s = N / R_s \gamma_{s6}.$$

Надо уметь формулировать основные предпосылки расчета и выводить формулы расчета.

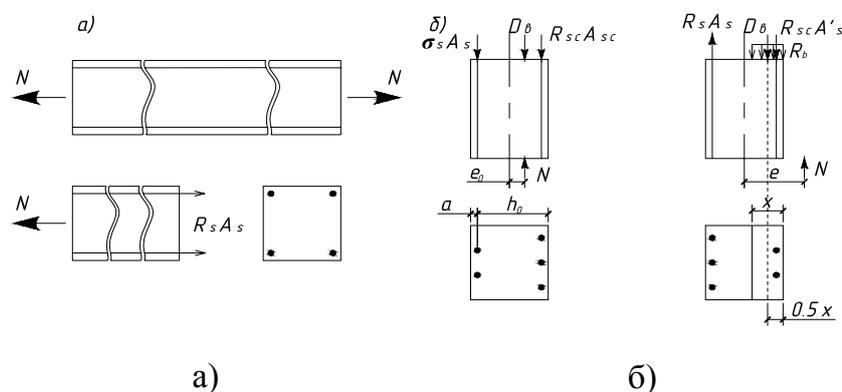


Рис. 3. Расчетная схема сечений:  
а – на растяжении; б – на внецентренное сжатие

Внецентренно сжатые элементы – основные предпосылки расчета аналогичны случаю изгиба (рис. 3, б). По характеру работы и разрушения различают два случая внецентренного сжатия: разрушение происходит по сжатой зоне, при этом все или большая часть сечений сжато  $\zeta > \zeta_R$ , и разрушение происходит по растянутой арматуре –  $\zeta \leq \zeta_R$ . Расчетные схемы сечений учитывают особенности каждого случая. Первый случай называют случаем малых и второй – больших эксцентриситетов.

В первом случае арматура более удалена от продольной силы либо слабо сжата, либо слабо растянута, поэтому напряжения в ней не могут быть приняты равными расчетным сопротивлениям. Для их определения недостаточно уравнений равновесия и используется общее (или упрощенное) выражение [1].

При расчете внецентренно растянутых элементов рассматриваются два случая положения продольной силы, что и определяет характер работы сечения и его расчет. Вывод расчетных формул осуществляется аналогично внецентренному сжатию [2].

Для закрепления рассмотренных разделов рекомендуется разобрать практические задачи (см. табл. 2) и контрольные вопросы, составить блок-схемы.

## Вопросы для самоконтроля

- 1. Анализ третьей стадии напряженно-деформированного состояния.*
- 2. Два случая внецентренного сжатия (по характеру работы и разрушения).*
- 3. Блок-схемы.*

### **6. Расчет по второй группе предельных состояний**

Цель расчета – обеспечить нормальные условия эксплуатации, то есть гарантировать: от образования трещин или чрезмерного их раскрытия; чрезмерного перемещения (прогибов, колебаний).

При изучении данного раздела следует обратить внимание на требования по трещиностойкости, которые предъявляются к различным конструкциям.

Способ расчета деформаций (прогибов) зависит от наличия или отсутствия трещин в растянутой зоне. Кривизна оси изгибаемых элементов на участках, где нет трещин, определяется как для сплошного приведенного сечения в стадии I напряженно-деформированного состояния. Влияние неупругих деформаций в растянутой зоне и ползучести бетона сжатой зоны на увеличение кривизны учитывается в нормах численными коэффициентами. Важно представлять, что в реальных конструкциях жесткость сечений переменная.

На участках, где имеются трещины, нормальные к продольной оси элемента, напряженное состояние будет упругим и определится средними деформациями растянутой арматуры и краевыми бетона сжатой зоны. Особенность состоит в том, что благодаря сцеплению между трещинами в растянутой зоне бетон работает совместно с арматурой, воспринимая некоторую величину растягивающего усилия. При рассмотрении физической схемы элементов и эпюры деформаций по сечению выводится формула кривизны для ненапряженного элемента. Усилие в напрягаемой арматуре учитывается как внешняя сила.

При рассмотрении расчета по образованию трещин обратите внимание на основные предпосылки и упрощения, связанные с использованием в нормах метода ядерных точек для изгибаемых и внецентренно

сжатых (растянутых) элементов. Используя формулы определения  $N_{cr}$ ,  $M_{cr}$ , проанализируйте эффект предварительного напряжения.

Ширина раскрытия трещин нормальных и наклонных к продольной оси элемента рассчитывается по эмпирическим формулам [2]. Однако они отражают основные факторы, определяющие ширину раскрытия: напряжение в арматуре (основной), вид напряженного состояния, степень насыщения арматурой и ее диаметр.

Обратите внимание на формулу определения полной величины раскрытия трещин, ее построение, физический смысл.

### Вопросы для самоконтроля

1. *Цель расчета по образованию и раскрытию трещин.*
2. *Охарактеризуйте категории требований по трещиностойкости.*
3. *Расчет образования трещин центрально-растянутых предварительно напряженных элементов.*
4. *Какие факторы влияют на ширину раскрытия трещин?*
5. *Цель расчета перемещений (прогибов).*
6. *Факторы, влияющие на прогибы железобетонных изгибаемых элементов при отсутствии и наличии трещин в растянутой зоне.*
7. *Из каких составляющих складывается полный прогиб (или кривизна) элементов при отсутствии трещин в растянутой зоне?*
8. *Как определяется полная кривизна железобетонного элемента с трещинами в растянутой зоне?*

## **7. Сборные и монолитные железобетонные несущие конструкции многоэтажных зданий**

Конструкции гражданских зданий состоят из отдельных элементов, представляя собой единую систему. Данный раздел содержит основы проектирования элементов по I группе предельных состояний. Проектирование включает в себя расчет, конструирование и имеет следующие этапы:

1. Составление расчетной схемы для определения усилий.
2. Подсчет величины нагрузок.
3. Определение усилий.
4. Подбор сечений элемента.

5. Определение требуемой площади рабочей арматуры.
6. Конструирование элемента на основании рекомендаций [3].

Необходимо уяснить сущность определения усилий в статически неопределимых железобетонных конструкциях с учетом перераспределения усилий:

- физическая сущность пластического шарнира;
- при каких условиях конструкция может рассчитываться с учетом перераспределения усилий.

#### Вопросы для самоконтроля

*1. Как определяются расчетные усилия при проектировании панелей и неразрезных ригелей сборных балочных перекрытий?*

*2. Нарисуйте и объясните принципы армирования ригелей и панелей.*

*3. Как определяются усилия в элементах при проектировании монолитных ребристых балочных перекрытий?*

*4. Почему неразрезная плита монолитного перекрытия не рассчитывается по поперечной силе?*

*5. В чем отличие расчетных нормальных сечений второстепенных и главных балок в пролете и на опоре? Армирование этих элементов.*

*6. Какие основные расчеты необходимо выполнить при проектировании отдельно стоящего центрально нагруженного фундамента под колонну?*

*7. Цель и принципы построения эпюры материалов на примере неразрезного ригеля сборного ребристого перекрытия.*

*8. Армирование фундамента и подколонника.*

*9. Составьте алгоритм расчета панели ригеля сборного перекрытия.*

### **8. Расчет предварительно напряженных железобетонных элементов**

При изучении данного раздела необходимо уяснить сущность предварительного напряжения арматуры. Это позволит четко представить (сформулировать) преимущества предварительно напряженных

конструкций, смысл «верхнего» и «нижнего» пределов предварительного напряжения, создаваемого в процессе натяжения арматуры, потерь (изменений) предварительных напряжений, а также особенности напряженно-деформированного состояния предварительно напряженных конструкций с момента изготовления и до разрушения от действия внешней нагрузки.

Обратите внимание, что экономия стали при использовании предварительно напряженных конструкций в отличие от аналогичных с ненапрягаемой рабочей арматурой имеет место, если в качестве напрягаемой применяется высокопрочная арматура (А800, А<sub>Т</sub>800, А1000, А<sub>Т</sub>1000, А1200, В1200 ... 2500, К7, К19) взамен более низких классов. Высокопрочная арматура без предварительного напряжения в изгибаемых и растянутых элементах применяться не может, так как конструкции не удовлетворяют требованиям по 2-й группе предельных состояний.

Определение геометрических характеристик приведенного сечения – это материал курса сопротивления материалов. Вспомните его. Рекомендуется обратить внимание на особенности конструирования предварительно напряженных элементов конструкций, которые обусловлены спецификой их напряженного состояния. Перечислите их и изобразите эти особенности конструирования.

Принципы вывода формул для расчета прочности нормальных и наклонных сечений изгибаемых предварительно напряженных элементов такие же, как и для элементов без предварительного напряжения.

Обратите внимание на вводимое в расчет значение напряжения в напрягаемой арматуре  $\sigma_s$ , расположенной в сжатой зоне сечения при действии внешних сил. Проанализируйте влияние этой арматуры на прочность нормальных сечений изгибаемых элементов.

#### Вопросы для самоконтроля

- 1. Преимущества предварительно напряженных конструкций.*
- 2. Недостатки предварительно напряженных конструкций.*
- 3. Особенности армирования.*
- 4. Классы арматуры, применяемые в качестве напрягаемой.*
- 5. Виды потерь преднапряжений.*

## 9. Каменные и армокаменные конструкции

Каменные конструкции широко применяют в зданиях и сооружениях различного назначения в качестве наружных и внутренних стен, столбов и фундаментов и т.п. Во многих случаях каменные материалы являются местными и их более широкое применение экономически целесообразно. Достоинства каменных конструкций – огнестойкость, долговечность, небольшие эксплуатационные расходы. Недостатки – большая собственная масса и значительные затраты ручного труда при возведении зданий. Каменные и армокаменные конструкции, как и железобетонные, рассчитываются по двум группам предельных состояний:

- 1) по несущей способности;
- 2) по пригодности к нормальной эксплуатации (по образованию и раскрытию трещин).

Основные вопросы изучения каменных конструкций можно разделить на группы:

1. Материалы для каменных кладок, их прочность и деформативность при различных силовых воздействиях; основные положения расчета по расчетным предельным состояниям.

2. Расчет сечений каменных и армокаменных кладок при различных силовых воздействиях.

3. Расчет элементов зданий.

Первая группа вопросов изложена подробно в [4, 5]. При их изучении необходимо обратить внимание на стадии напряженно-деформированного состояния кладок при сжатии и на прочность кладки при различных силовых воздействиях. Для увеличения несущей способности кладка армируется сетками или продольными стержнями. Причина увеличения несущей способности состоит в том, что сетчатое (косвенное) армирование сдерживает свободное развитие поперечных деформаций, которые являются основной первопричиной разрушения каменной кладки. Изобразите армированную кладку. Изучая расчет сечений каменных и армокаменных конструкций, обратите внимание на одинаковую структуру расчетных формул прочности кладки при центральном, внецентренном и местном сжатии:

$$N \leq m\phi RF; \quad (4)$$

$$N \leq m\phi R\omega F_c; \quad (5)$$

$$N \leq m\phi R_{ak}F; \quad (6)$$

$$N \leq mR_{aka}F_e\omega; \quad (7)$$

$$N \leq \mu \nu R_{cm}F_{cm}. \quad (8)$$

Все приведенные неравенства, определяющие условия прочности, получены из условия равновесия с учетом особенностей работы кладки. Условия (4) .... (8) отражают то, чем определяется несущая способность сечения:

- расчетным сопротивлением кладки;
- площадью сечения, воспринимающей действующее усилие.

При центральном сжатии – это вся площадь поперечного сечения элемента, при внецентренном сжатии – площадь сжатой зоны  $F_c$ . При местном сжатии – площадь, на которую передается нагрузка.

В формулах (4) и (7) снижение несущей способности сжатых элементов из-за искривления продольной оси учитывается коэффициентом продольного изгиба, значения которого при центральном, внецентренном сжатии определяются в зависимости от упругой характеристики кладки и приведенной гибкости элемента.

При местном сжатии – формула (8) – незагруженная или менее загруженная часть кладки оказывает сопротивление развитию поперечных деформаций загруженной части. По этой причине прочность кладки в этом случае выше, чем при передаче усилия на все сечение, то есть:

$$R_{cm} = \gamma R,$$

где  $\gamma = \sqrt[3]{F/F_{cm}} \leq \gamma_1$ .

Необходимо разобраться с определением расчетной площади сечения при различных вариантах приложения местной нагрузки [3, 10]. Только после тщательного изучения первых двух групп вопросов рекомендуется приступить к изучению расчетов элементов зданий из каменной кладки. Уделите внимание статическому расчету каменных зданий. Необходимо иметь четкое представление о различии зданий по степени их пространственной жесткости – здания с жесткой и упругой конструктивной схемой. Стены подвальных этажей рассчитываются с учетом давления на грунт. После определения усилий расчет сечений и элементов каменных конструкций выполняется в соответствии с ранее изученным материалом (2-я группа вопросов).

Выбор каменных конструкций и материалов должен осуществляться на основании технико-экономического сравнения вариантов. Следует обратить внимание на расчет, особенность возведения кладки при отрицательных температурах.

## Вопросы для самоконтроля

1. Основные виды каменных материалов.
2. Факторы, влияющие на предел прочности кладки при центральном сжатии.
3. Что понимают под нормативным сопротивлением кладки и как его определяют?
4. Как и зачем кладку армируют сетками?
5. Влияние обоем (стальных, железобетонных, армированных штукатурных) на несущую способность каменной кладки.
6. Напишите и объясните формулы расчета прочности кладки при центральном и внецентренном сжатии.
7. В чем суть различия зданий с жесткой и упругой схемой?
8. Как определяются усилия в зданиях с жесткой конструктивной схемой и упругой?
9. В чем отличие расчета стен подвальных этажей?
10. Особенности возведения каменной кладки методом замораживания.
11. Особенности расчета каменной кладки, выполняемой методом замораживания.

## **10. Конструкции одноэтажных и многоэтажных зданий и сооружений**

В первой части курса рассматривались только некоторые железобетонные конструкции многоэтажных зданий, поэтому конструкции одноэтажных и многоэтажных зданий изучаются во второй части курса.

При изучении данного раздела вначале рекомендуется изучить перекрытия многоэтажных зданий: монолитные, сборные, сборно-монолитные, балочные и безбалочные. В каждом случае необходимо, прорисовав схемы планов и разрезы, четко уяснить основы проектирования каждого вида перекрытия (сбор нагрузок, расчетные схемы, определение усилий, назначение размеров сечений). Для понимания кон-

струирования (армирования) лучше всего эскизно зарисовать сечения и виды конструкций с постепенным показом позиций арматуры. Выделите общие положения, главные вопросы и отличия. В дальнейшем это поможет применить полученные значения при изучении других типов конструкций, а также в нашей практической работе.

Расчет железобетонных конструкций массового применения имеет общий подход, и только некоторые особенности определяют специфику той или иной конструкции. Так, при проектировании стропильных двускатных балок с параллельными поясами, подкрановых, ригелей каркасов многоэтажных рам необходимо обеспечить их прочность по усилиям  $M$  и  $Q$ . Характер армирования указанных конструкций определяется действием этих усилий. Для изгибаемых предварительно напряженных элементов надо обеспечить прочность опорных участков на действие усилий предварительного обжатия и опорных реакций. Имеются и отличия в определении усилий от нагрузок при их расчете. Например, для двускатных балок особенность расчета вызвана переменной высотой.

При изучении темы «Многоэтажные здания» обратите внимание на то, что основой многоэтажного здания служит пространственная несущая система из стержневых или панельных элементов. По способу восприятия горизонтальных нагрузок различают три основные конструктивные системы: рамную, связевую и рамно-связевую. В большинстве случаев принятие системы определяет все конструктивное решение. Здания также подразделяют на каркасные, бескаркасные и комбинированные.

#### Вопросы для самоконтроля

- 1. Преимущества плит, опертых по контуру, по сравнению с балочными плитами.*
- 2. Особенности проектирования сборно-монолитных перекрытий.*
- 3. Существенные различия расчета внецентренно и центрально-нагруженных фундаментов под отдельные колонны.*
- 4. В каких случаях проявляется пространственная работа каркаса одноэтажного производственного здания?*

5. В каких случаях удобно применять балки покрытий, а в каких фермы?

6. Изобразите схему армирования стропильной и подкрановой балок и дайте обоснование.

7. Преимущества и недостатки колонн прямоугольного, двутаврового, кольцевого и двухветвевое и других сечений.

8. Основные конструктивные системы многоэтажных зданий. Область применения.

9. Основные положения расчета зданий рамной, связевой и рамно-связевой систем.

10. Решения узлов сопряжения колонн и ригелей сборных каркасов.

## **11. Основы проектирования элементов минимальной расчетной стоимости**

Вопросы этого раздела содержат основные положения по оптимальному проектированию железобетонных конструкций и предназначены для улучшения технико-экономических показателей – снижение массы, металлоемкости, стоимости. Другими словами, целевая функция оптимизации может быть по различным параметрам. В рекомендованной литературе имеются справочные данные для определения расчетной стоимости железобетонных конструкций, наиболее часто применяемых в строительстве промышленных зданий [2].

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Цель оптимизации конструкций.
2. Виды целевых функций.
3. Основные параметры и условия, определяющие стоимость конструкции в деле

## **12. Усиление элементов конструкций**

В настоящее время капитальные вложения будут направляться в первую очередь на реконструкцию и техническое перевооружение предприятий. В связи с этим актуальным становится задача усиления элементов конструкций. В пределах программы общего курса «Железобетонные и каменные конструкции» достаточно рассмотреть принципы, изложенные в [2].

## Вопросы для самоконтроля

1. *Цели усиления элементов конструкции.*
2. *Принципиальные способы усиления.*
3. *Особенность усиления конструкций под нагрузкой.*

### **13. Автоматизированное проектирование**

Именно с автоматизацией проектирования (АП) связаны принципиальные возможности расчета сложных строительных конструкций, системный анализ и повышение производительности труда инженеров, занятых проектированием. Практическая реализация целей и идей АП осуществляется в рамках САПР. Автоматизация проектирования возникла на базе достижений вычислительной математики и вычислительной техники.

При ручном счете не представляется возможным положить расчетные методы в основу большинства проектных процедур. С усложнением объектов возникла необходимость перехода к математическому моделированию. Это в значительной мере определяет содержание теории АП.

Следует обратить внимание, что проектирование технического объекта, в том числе строительного, – это процесс, заключающийся в преобразовании исходного описания объекта в окончательное, на основе выполнения комплекса работ исследовательского, расчетного и конструкционного характера.

Проектирование, когда часть или все проектные решения получают при взаимодействии человека и ЭВМ, называют автоматизированным.

Возможности проектирования сложных объектов обусловлены использованием ряда принципов (главные): декомпозиция и иерархичность описания объектов, многоэтапность и итерационность проектирования, типизация и унификация проектных решений и средств проектирования.

Необходимость расчленения представлений об объекте объясняется невозможностью его единого описания для восприятия. Расчленение на иерархические уровни позволяет распределять работы по про-

ектированию сложных объектов между подразделениями проектной организации. При блочно-иерархическом подходе появляются иерархические уровни, на каждом из которых используются свои понятия системы и элементов.

По характеру и степени участия человека и использования ЭВМ различают несколько режимов проектирования: автоматический, когда маршрут выполняется по формальным алгоритмам без вмешательства человека; диалоговый, когда все процедуры выполняются на ЭВМ, а человек осуществляет оперативную оценку результатов; ручной (неавтоматизированный) – без помощи ЭВМ.

#### Вопросы для самоконтроля

- 1. Преимущества использования готовых программ.*
- 2. Виды программ и подпрограмм.*
- 3. Современные применяемые программы.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК\*

1. СНиП 2.03.01-84\*\*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М., 2003. – 77 с.
2. Байков, В. Н. Железобетонные конструкции: общий курс / В. Н. Байков, Э. Е. Сигалов. – М., 2005. – 727 с.
3. Попов, Н. Н. Проектирование и расчет железобетонных конструкций / Н. Н. Попов, А. В. Забегаев. – М., 1993. – 335 с.
4. Проектирование железобетонных конструкций: справоч. пособие. – Киев, 1985. – 496 с.
5. Бондаренко, В. М. Расчет железобетонных и каменных конструкций: учеб. пособие для вузов / В. М. Бондаренко, А. И. Судницын, В. Г. Назаренко. – М., 1988. – 302 с.
6. Бондаренко, В. М. Железобетонные и каменные конструкции / В. М. Бондаренко, А. И. Суворкин. – М., 1987. – 233 с.
7. Расчет и конструирование частей жилых и общественных зданий. Справочник проектировщика / под ред. П. Ф. Вахненко. – Киев, 1987. – 338 с.
8. Примеры расчета железобетонных конструкций: учеб. пособие / И. М. Сперансий, С. Г. Сташевская, С. В. Бондаренко. – М., 1989. – 169 с.
9. СНиП II-22-81. Каменные и армокаменные конструкции. – М., 1983. – 63 с.
10. Проектирование и расчет гражданских зданий и их элементов / П. Ф. Дроздов [и др.]. – М., 1986. – 337 с.

---

\* Печатается в авторской редакции.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
1. Введение в железобетон.....	4
2. Свойства бетона, арматуры и железобетона .....	4
3. Экспериментальные основы теории железобетона .....	6
4. Расчет и конструирование изгибаемых железобетонных элементов .....	7
5. Расчет и конструирование сжатых и растянутых элементов .....	17
6. Расчет по второй группе предельных состояний.....	19
7. Сборные и монолитные железобетонные несущие конструкции многоэтажных зданий .....	20
8. Расчет предварительно напряженных железобетонных элементов .....	21
9. Каменные и армокаменные конструкции .....	23
10. Конструкции одноэтажных и многоэтажных зданий и сооружений.....	25
11. Основы проектирования элементов минимальной расчетной стоимости .....	27
12. Усиление элементов конструкций .....	27
13. Автоматизированное проектирование.....	28
Библиографический список.....	30

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ИЗУЧЕНИЮ РАЗДЕЛА «ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ»  
КУРСА «КОНСТРУКЦИИ ГОРОДСКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

Составители  
МИХАЙЛОВ Василий Васильевич  
ВОРОНОВ Виктор Иванович

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой доцент С.И. Рощина

Подписано в печать 29.05.09.  
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 1,86. Тираж 200 экз.  
Заказ  
Издательство  
Владимирского государственного университета  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.