

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РФ
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Б.С. Соколов, А.Н. Седов

Примеры расчета и конструирования железобетонных
конструкций по СП 52-101-2003

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ по
образованию в области строительства в качестве учебного пособия для
студентов, обучающихся по направлению строительство.

Казань 2007

УДК 624.012
С59

Соколов Б.С., Седов А.Н.
Примеры расчета и конструирования железобетонных конструкций по СП
52-101-2003: Учебное пособие. – Казань: КГАСУ, 2007г. – 97с.

ISBN 978-5-7829-0191-2

Печатается по решению Редакционно-издательского совета КГАСУ

Учебное пособие содержит контрольные вопросы, блок-схемы для решения задач, примеры расчета и конструирования железобетонных элементов по СП 52-101-2003.

Предназначено для студентов всех специальностей.

Рецензент: Профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций
МГСУ, к.т.н. Плотников А.И.

Илл. 23; табл. 46; библи. наим. 8.

УДК 624.012

ISBN 978-5-7829-0191-2

- © Соколов Б.С., Никитин Г.П.,
Седов А.Н., Загидуллин М.Р.
- © Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2007

Содержание

Введение	4
1. Последовательность проектирования железобетонных элементов и конструкций	6
2. Расчет элементов прямоугольного профиля на прочность по сечениям, нормальным к продольной оси элемента.....	9
3. Расчет элементов таврового профиля на прочность по сечениям, нормальным к продольной оси	22
4. Расчет железобетонных элементов на прочность по сечениям, наклонным к продольной оси	36
5. Расчет изгибаемых элементов по раскрытию трещин, нормальных к продольной оси	53
6. Расчет железобетонных элементов по деформациям	63
7. Расчет внецентренно сжатых элементов на прочность по сечениям, нормальным к продольной оси	72
9. Расчет элементов на продавливание при действии сосредоточенной силы и изгибающего момента	84
Список литературы	91

Введение

Методические указания к практическим занятиям по расчету и конструированию железобетонных элементов по СП 52-101-2003 представлены в следующем составе:

1. Последовательность проектирования железобетонных элементов и конструкций.
2. Расчет элементов прямоугольного профиля на прочность по сечениям, нормальным к продольной оси.
3. Расчет элементов таврового профиля на прочность по сечениям, нормальным к продольной оси.
4. Расчет железобетонных элементов на прочность по наклонным сечениям.
5. Расчет изгибаемых элементов по раскрытию трещин, нормальных к продольной оси.
6. Расчет железобетонных элементов по деформациям.
7. Расчет внецентренно сжатых элементов на прочность.
8. Расчет внецентренно растянутых элементов на прочность.
9. Расчет элементов на продавливание при действии сосредоточенной силы и изгибающего момента.

Методические указания содержат контрольные вопросы, блок-схемы для решения задач, примеры расчета и конструирования железобетонных элементов, и могут быть использованы не только для проведения практических занятий, но и курсовых и дипломных проектов.

Перед началом занятия студент должен изучить учебный материал по заранее выданным методическим указаниям, соответствующим лекциям и рекомендуемой литературе, а также ответить на контрольные вопросы. Последние представлены в виде тестирования, по итогам которого производится допуск студента к выполнению практических занятий. Тестирование проводится на ЭВМ с помощью программного комплекса «RS-Тестирование». Проверка знаний осуществляется при поведении занятий в компьютерном классе. Если занятия проводятся в аудиториях, необорудованных компьютерной техникой, то преподаватель проводит устный опрос студентов с оценкой качества ответа.

После допуска к занятиям студент решает индивидуальное задание, исходные данные которого он принимает по приложению к каждой теме по порядковому номеру в списке группы. В процессе работы студенты используют алгоритм и пример расчета. Все необходимые справочные данные представлены в приложениях, в т.ч. в электронном виде.

После решения контрольного примера студенту предлагается заполнить талон, который содержит результаты вычислений и промежуточные значения. Контрольный талон сдается преподавателю и в случае успешного выполнения в отведенный срок студент получает зачет по теме практического занятия. Если студент допустил ошибку, ему

представляется протокол проверки расчета с указанием параметра, в котором он допустил ошибку. В этом случае ему необходимо продолжить работу над данным практическим занятием.

Допуск к следующему занятию разрешается после получения положительного решения по предыдущему практическому занятию.

На всех этапах выполнения практического занятия студент получает консультации у преподавателя.

Пример заполнения контрольного талона:

Контрольный талон проверки задачи по теме:

Расчет элементов прямоугольного профиля на прочность по нормальным сечениям

Фамилия студента: Иванов группа: 03-401

Преподаватель: Седов

Вариант задания: 1

Контролируемый параметр	R_b , МПа	γ_{b2}	h_0 , мм	α_m	ξ	$A_{s,2}$, мм ²	$A'_{s,2}$, мм ²
Значение	14,5	0,9	470	0,28	0,33	1147,2	0

Дата проверки: 14.03.07

Оценка: отлично

Подпись преподавателя

1. Последовательность проектирования железобетонных элементов и конструкций

Процесс проектирования включает несколько связанных между собой этапов, выполняемых в последовательности, указанной в блок-схеме 1.1.

Проектирование бетонных и железобетонных конструкций осуществляется в соответствии с требованиями, изложенными в [1]. Выделяют:

- общие требования;
- требования к материалам (бетону и арматуры);
- требования к расчету;
- конструктивные требования;
- технологические и эксплуатационные требования;
- для реконструируемых зданий – требования к восстановлению и усилению конструкций.

К общим относятся требования:

- по безопасности;
- по эксплуатационной пригодности;
- по долговечности.

Требования по материалам устанавливаются в зависимости от требований, предъявляемым к конструкциям, в основном, в зависимости от условий их эксплуатации, назначения.

Требования к бетону объединены в классы (по прочности на сжатие и осевое растяжение) и марки (по морозостойкости, водонепроницаемости, средней плотности). Основными нормируемыми и контролируемыми показателями качества бетона являются физико-механические свойства – прочностные ($R_{bn}, R_{bt,n}$) и деформационные характеристики ($e_{b_{on}}, e_{b_{bt,on}}, E_{bn}, \eta, G, a_{bt}, e_{cr}, e_{shr}$).

Требования к арматуре определяются требованиями к конструкциям. Основными нормируемыми и контролируемыми показателями качества стальной арматуры являются физико-механические свойства – прочность на растяжение (классы «А», «В», «К») и деформационные характеристики ($e_{s,n}$).

Требования к расчету отражают основные положения метода предельных состояний. Предельным называют состояние, с наступлением которого конструкция (элемент) перестает удовлетворять предъявляемым требованиям. Для железобетонных конструкций такие требования объединены в две группы:

- предельные состояния первой группы, приводящие к полной непригодности эксплуатации конструкций;

- предельные состояния второй группы, затрагивающие нормальную эксплуатацию конструкции или уменьшающую их долговечность.

Для обеспечения перечисленных требований необходимо выполнить в соответствии с [1, 2, 3] соответствующие расчеты. Расчеты по первой группе предельных состояний включают:

- расчет по прочности;
- расчет по устойчивости формы;
- расчет по устойчивости положения.

Расчеты по предельным состояниям второй группы для элементов без предварительного напряжения арматуры включают:

- расчет по образованию трещин;
- расчет по раскрытию трещин;
- расчет по деформациям.

Конструктивные требования относятся к назначению геометрических размеров поперечного сечения проектируемого элемента (конструкции) и армированию (назначение защитного слоя, минимального расстояния между стержнями, максимального и минимального содержания продольной и поперечной арматуры, ее анкеровки, защиты от агрессивной среды).

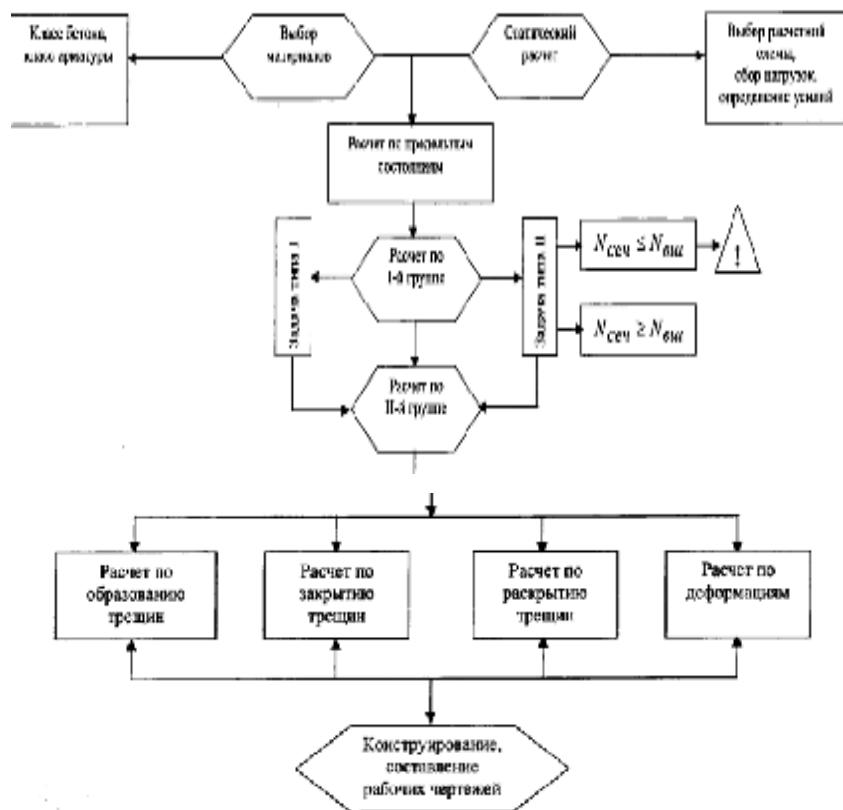
Требования технологии изготовления и возведения устанавливаются для необходимости обеспечения нормируемых физико-механических свойств материалов и относятся к подбору состава бетона, установки соответствующей проекту арматуры. Их выполнение должно гарантировать конструкционную безопасность, эксплуатационную пригодность и долговечность не только проектируемого элемента или конструкции, но и здания (сооружения) в целом.

Требования к восстановлению и применению железобетонных конструкций устанавливаются для реконструируемых или восстанавливаемых зданий (сооружений). Кроме перечисленных в [1] необходимо соблюдение требований, изложенных в [4].

Для расчета конструкций по предельным состояниям необходимо знать усилия от внешней нагрузки, действующие на проектируемый элемент (конструкцию). Для этого необходимо:

- выбрать расчетную схему;
- собрать нагрузку в соответствии с [4];
- определить усилия, используя известные подходы строительной механики.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЭТАПОВ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ



2. Расчет элементов прямоугольного профиля на прочность по сечениям, нормальным к продольной оси элемента

Цель – обеспечить несущую способность железобетонного элемента.

Задачи - подобрать необходимую площадь сечения продольной сжатой и растянутой арматуры в железобетонном элементе; проверить прочность сечения, выполнить конструирование.

Перед выполнением задания следует изучить разделы 3.14 – 3.22 Пособия к СНиП 52-01-2003, и материалы лекции № , а также ответить на контрольные вопросы.

Таблица 2.1

Контрольные вопросы.

1. Какой элемент называется изгибаемым?	<p>а) Изгибаемыми называют элементы, в которых в поперечном сечении при действии внешней нагрузки возникает изгибающий момент.</p> <p>б) Изгибаемыми называют элементы, в которых в поперечном сечении при действии равномерно распределенной внешней нагрузки возникает изгибающий момент и поперечная сила.</p> <p>в) Изгибаемыми называют элементы, на которые действует равномерно распределенная внешняя нагрузка.</p>
2. Какие характеристики бетона и арматуры учитываются при расчете на прочность по сечениям, нормальным к продольной оси?	<p>а) Расчетные значения сопротивления бетона и арматуры осевому сжатию и растяжению.</p> <p>б) Нормативные значения сопротивления бетона и арматуры осевому сжатию и осевому растяжению.</p> <p>в) Нормативные значения сопротивления бетона и арматуры осевому сжатию, значения начального модуля упругости бетона и арматуры.</p>
3. Чем обеспечивается несущая способность нормального к продольной оси сечения на изгиб?	<p>а) Моментом внутренней пары сил.</p> <p>б) Изгибающим моментом от внешних нагрузок.</p> <p>в) Расчетным сопротивлением бетона сжатию.</p>
4. Укажите критерий установки сжатой арматуры по расчету?	<p>а) $a_R < 0$.</p> <p>б) $a_m > a_R$.</p> <p>в) $h_0 < 400 \text{ мм}$.</p>

5. Назовите стадии напряженно-деформированного состояния нормальных сечений железобетонных элементов при изгибе?	а) Упругая ,стадия разрушения . б) Образование трещин, разрушение. в) 3 стадии: упругая, появление и развитие трещин, разрушение.
6. Что делать, если $M > M_{ult}$	а) Повторить расчет. б) Изменить размеры сечения. в) Усилить элемент.

Изгибаемыми называют элементы, в которых в поперечном сечении при действии внешней нагрузки возникает изгибающий момент и поперечная сила в зависимости от схемы приложения нагрузки (рис. 2.1). Поэтому расчет по прочности железобетонного элемента производят на действие изгибающего момента (по сечениям, нормальным к продольной оси) и поперечной силы (по сечениям, наклонным к продольной оси). К изгибаемым элементам относятся плиты перекрытий, балки, консоли и т.п. Схема усилий и эпюра напряжений в поперечном сечении элемента представлена на рис. 2.2.

В зависимости от типа конструкции, схемы нагружения и величины нагрузки принимают одиночное или двойное армирование.

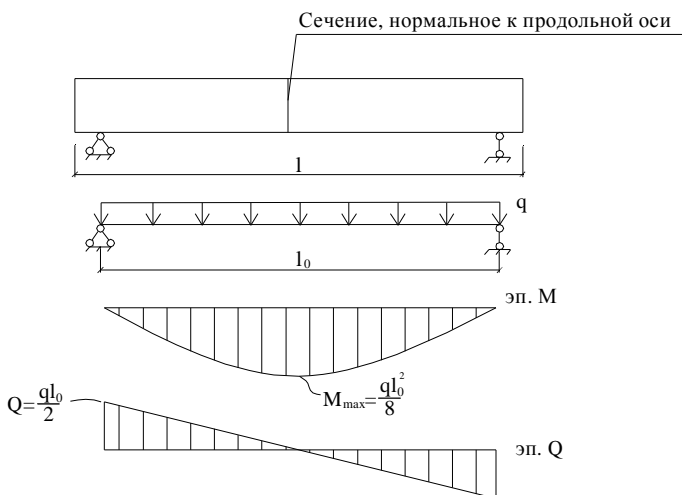


Рис. 2.1. Изгибаемый элемент.

При расчете изгибаемых элементов по прочности сечений, нормальных к продольной оси, рассматривается прямая задача - подбор арматуры (задача типа 1 и 1а) и обратная задача - проверка прочности (задача типа 2).

В тексте использованы ссылки на пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003).

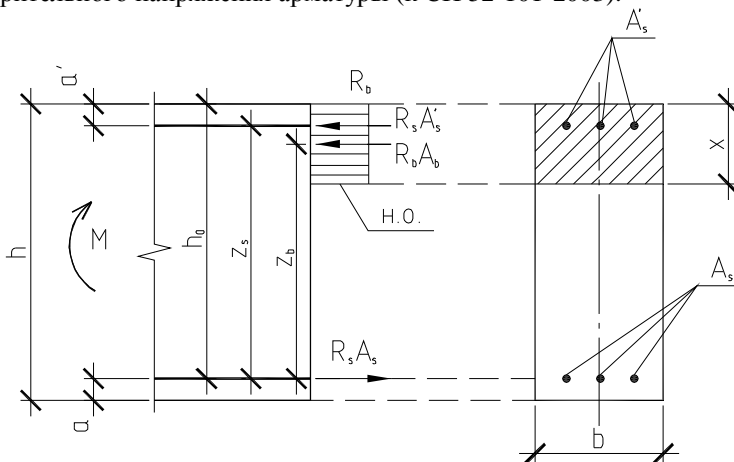
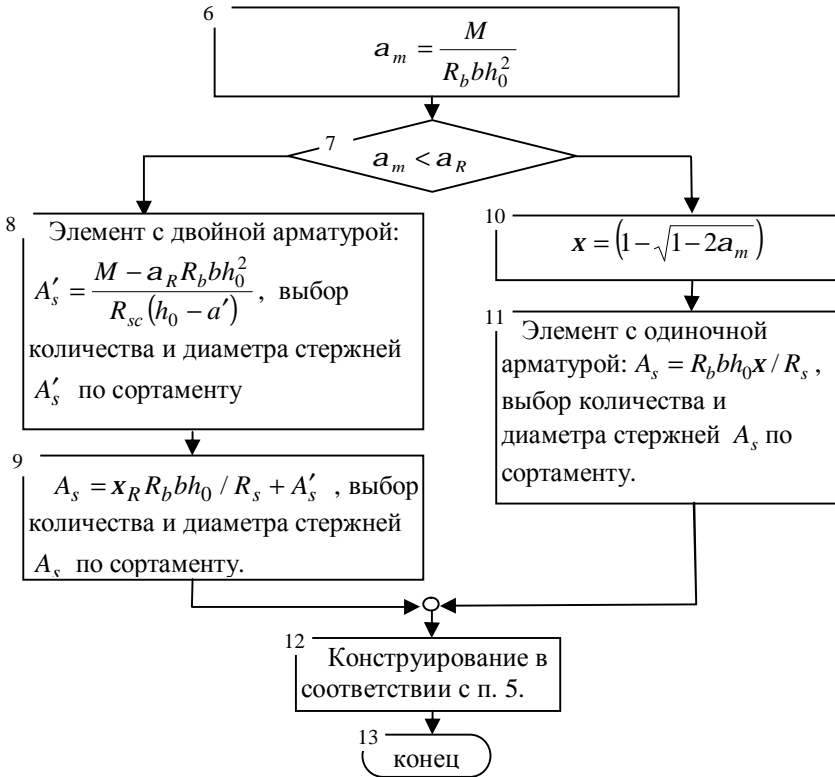


Рис. 2.2. Схема усилий и эпюра напряжений в поперечном прямоугольном сечении изгибаемого железобетонного элемента с двойной арматурой.

- **Последовательность решения задач 1 и 1а представлены в блок-схеме 2.1.**

Блок-схема 2.1 (начало)





Пример расчета 1. (задача типа 1).

1. Начало.

2. Назначить размеры и подобрать растянутую продольную арматуру в сборном ригеле перекрытия (см. рис. 2.3), опирание плит перекрытия на балку с обеих сторон минимум по 100 мм, зазор между плитами перекрытия 20 мм. Пролет ригеля 6 м. Опирание на кирпичные стены 250 мм с каждой стороны. Расчет ведем по блок-схеме 2.1.

Характеристики бетона и арматуры (прил. 1 табл. 1, 2). Бетон тяжелый, класса В20, $R_b = 11.5 \text{ МПа}$. С учетом коэффициента $g_{b2} = 0.9$, принимаемого по п. 2.8, $R_b = 0.9 \cdot 11.5 = 10.35 \text{ МПа}$. Продольная рабочая арматура класса А-400, $R_s = 355 \text{ МПа}$. Изгибающий момент $M = 213 \text{ кН*м}$.

По табл. 3.2 или прил. 1 табл. 3 находим $x_R = 0.531$, $a_R = 0.39$.

3. Предварительно назначаем ширину балки $b = 100 + 100 + 20 = 220 \text{ мм}$ (см. исходные данные).

$$4. h_0 = \sqrt{\frac{213 \cdot 10^6}{0,39 \cdot 10,35 \cdot 220}} = 489,75 \text{ мм}.$$

5. По п. 5 принимаем $a=40$ мм. Тогда $h = 489,75 + 40 = 529,75 \text{ мм}$.
Принимаем $b=250$ мм, $h=550$ мм – кратно модулю 50 мм; $250/550=0,45$.

Уточняем значение h_0 по принятому значению высоты h :
 $h_0 = 550 - 40 = 510 \text{ мм}$.

$$6. a_m = \frac{213 \cdot 10^6}{10,35 \cdot 250 \cdot 510^2} = 0,316.$$

7. $a_m = 0,316 < a_R = 0,39$ - сжатая арматура по расчету не требуется.

$$10. x = \left(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,316}\right) = 0,394.$$

$$11. A_s = \frac{10,35 \cdot 250 \cdot 510 \cdot 0,394}{355} = 1465 \text{ мм}^2. \text{ По сортаменту (прил. 2}$$

табл. 1) принимаем 3 $\emptyset 25 A_s = 1473 \text{ мм}^2$. $\Delta = \frac{1473 - 1465}{1465} 100\% = 0,5\%$.

12. Конструирование элемента см. рис. 2.3.

Толщина защитного слоя составляет $a - d / 2 = 40 - 25 / 2 = 27,5 \text{ мм} > 25 \text{ мм}$. Так как фиксацию арматуры осуществляем с помощью устройств однократного использования, то в соответствии с п. 5.54 толщину защитного слоя уменьшаем до 25 мм – кратно 5 мм (увеличение толщины защитного слоя без повтора расчетов не допускается). Расстояние между стержнями в свету составляет 65 мм.

Поперечную арматуру назначаем из условий свариваемости по табл. 2 прил. 2 класса А240 диаметром 8 мм и устанавливаем конструктивно с шагом 250 мм (что не более $0,5h_0 = 255$ мм).

Продольную сжатую арматуру принимаем конструктивно диаметром 8 мм класса А240.

Монтажную арматуру принимаем конструктивно диаметром 8 мм класса А240 и устанавливаем с шагом 600 мм согласно п. 5.18.

Строповочные петли принимаем согласно п. 5.49-5.50.

Пример заполнения контрольного талона проверки решения задачи:

Фамилия студента: Иванов группа: 03-401 Преподаватель: Седов

Вариант задания: 1

Контролируемый параметр	R_b , МПа	γ_{b2}	h_0 , мм	a_m	ξ	A_s , мм ²	A'_s , мм ²
Значение	10,35	0,9	510	0,316	0,394	1465	-

13. Конец.

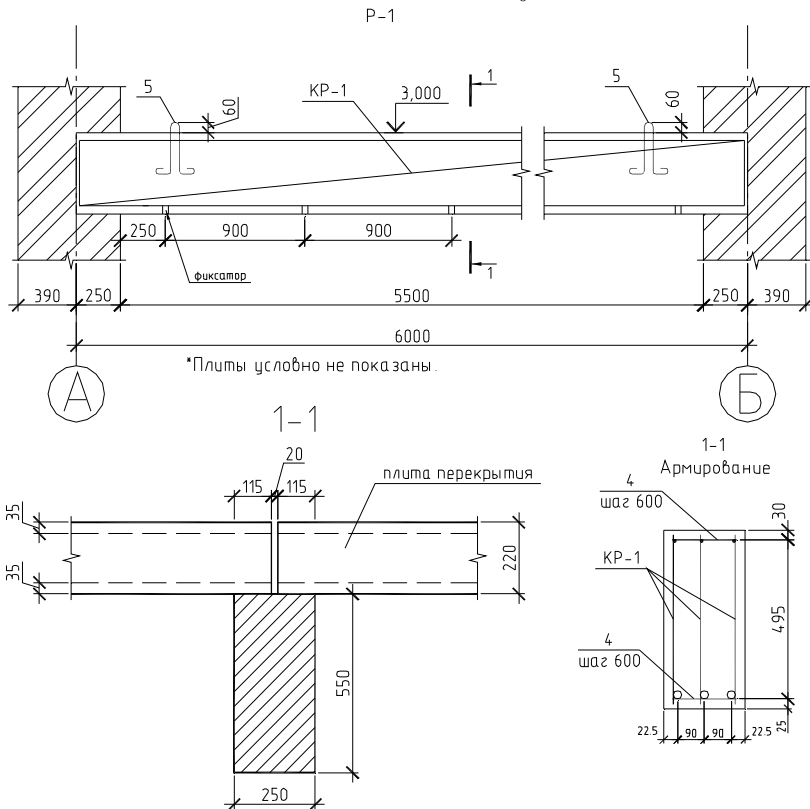
Пример расчета 2. (задача типа 1а для элемента с двойной арматурой).

Подобрать сжатую и растянутую арматуру в изгибаемом элементе. Расчет ведем по блок-схеме 2.1.

1. Начало.

2. По заданию выбираем геометрические размеры изгибаемого железобетонного элемента: $b=200$ мм, $h=500$ мм, пролет 6 м.. Характеристики бетона и арматуры (прил. 1 табл. 1, 2). Бетон тяжелый, класса В25, $R_b = 14.5$ МПа. С учетом коэффициента $g_{b2} = 0.9$, принимаемого по п. 2.8, $R_b = 0.9 \cdot 14.5 = 13.05$ МПа. Продольная рабочая арматура класса А-400, $R_s = 355$ МПа. Изгибающий момент $M=215$ кН*м. По табл. 3.2 или прил. 1 табл. 3 находим $x_R = 0.531$, $a_R = 0.39$.

5. Принимаем $a=65$ мм, $a'=30$ мм. Тогда $h_0 = 500 - 65 = 435$ мм.



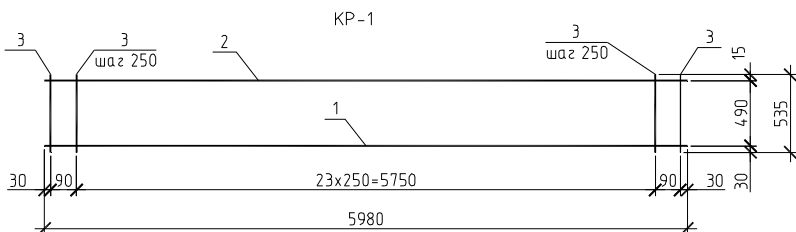


Рис. 2.3. Конструирование элемента (к примеру расчета 1).

Табл. 2.2

Спецификация сборного ригеля P-1

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание
<i>Сборные единицы</i>				
KP-1		Каркас KP-1	3	92,424
<i>Детали</i>				
4		O8 A240 l=210	22	0,083
5		O12 A240 l=1185	2	1,052
<i>Материалы</i>				
		Бетон B20		0,825 м3

Табл. 2.3

Спецификация арматурных изделий

Марка изделия	Поз.	Наименование	Кол.	Масса 1дет., кг	Масса изд., кг
KP-1	1	∅ 25 A400, l=5980	1	22,96	30,81
	2	∅ 8 A240, l=5980	1	2,362	
	3	∅ 8 A240, l=535	26	0,211	

Табл. 2.4

Ведомость деталей

Поз.	Эскиз
5	

Табл. 2.5

Ведомость расхода стали, кг

Марка элемента	Изделия арматурные						Всего
	Арматура класса						
	A400			A240			
	ГОСТ 5781-82*			ГОСТ 5781-82*			
	О25		Итого	О8	О12	Итого	
P-1	68,88		68,88	25,37	2,104	27,47	96,35

$$6. a_m = \frac{215 \cdot 10^6}{13,05 \cdot 200 \cdot 435^2} = 0,435.$$

7. $a_m = 0,435 > a_R = 0,39$ - требуется установка сжатой арматуры.

$$8. A'_s = \frac{212 \cdot 10^6 - 0,39 \cdot 13,05 \cdot 200 \cdot 435^2}{355(435 - 30)} = 155,7 \text{ мм}^2. \text{ По сортаменту}$$

(прил. 2 табл. 1) принимаем $2 \emptyset 10 A'_s = 157 \text{ мм}^2$,

$$\Delta = \frac{157 - 155,7}{155,7} 100\% = 0,8\%.$$

9. $A_s = 0,531 \cdot 13,05 \cdot 200 \cdot 435 / 355 + 157 = 1855,2 \text{ мм}^2$. По сортаменту (прил. 2 табл. 1) принимаем $4 \emptyset 25 A_s = 1963 \text{ мм}^2$.

$$\Delta = \frac{1963 - 1855,2}{1855,2} 100\% = 5,8\%. \text{ Арматурные стержни располагаем в 2 ряда.}$$

12. Конструирование элемента см. рис. 2.4, 2.5.

Расстояние между стержнями продольной растянутой арматуры по вертикали в свету принимаем 30 мм. Тогда толщина защитного слоя составляет $65 - 25 - 30 / 2 = 25 \text{ мм}$ - что кратно 5 мм. Фиксацию арматуры осуществляем с помощью устройств однократного использования.

Поперечную арматуру назначаем из условий свариваемости по табл. 2 прил. 2 класса A240 диаметром 8 мм и устанавливаем конструктивно с шагом 200 мм (что не более $0,5h_0 = 217,5 \text{ мм}$). Монтажную арматуру принимаем конструктивно диаметром 8 мм класса A240 и устанавливаем с шагом 600 мм согласно п. 5.18.

Строповочные петли принимаем согласно п. 5.49-5.50.

Пример заполнения контрольного талона проверки решения задачи:

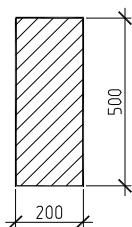
Фамилия студента: Иванов группа: 03-401 Преподаватель: Седов

Вариант задания: 1

Контролируемый параметр	R_b , МПа	γ_{b2}	h_0 , мм	α_m	ξ	$A_{s,2}$, мм ²	$A'_{s,2}$, мм ²
Значение	13,05	0,9	435	0,435	-	1855,2	155,7

13. Конец.

1-1
Опалубочный чертеж



1-1
Армирование

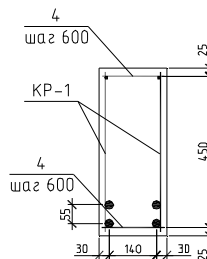


Рис. 2.4. Конструирование элемента (к примеру расчета 2).

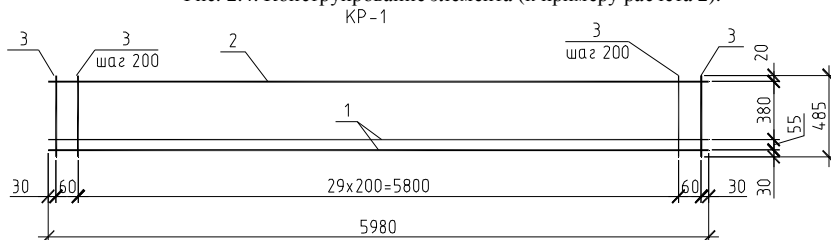


Рис. 2.5. Плоский каркас (к примеру расчета 2).

Табл. 2.6

Спецификация сборного ригеля Р-1

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание
<i>Сборные единицы</i>				
КР-1		Каркас КР-1	2	111,38
<i>Детали</i>				
4		Ø8 А240 l=180	22	0,071
5		Ø12 А240 l=1185	2	1,052
<i>Материалы</i>				
		Бетон В25		0,6 м3

Табл. 2.7
 Спецификация арматурных изделий

Марка изделия	Поз.	Наименование	Кол.	Масса 1дет., кг	Масса изд., кг
КР-1	1	∅ 25 А400, l=5980	2	22,96	55,69
	2	∅ 10 А400, l=5980	1	3,69	
	3	∅ 8 А240, l=485	32	0,19	

Табл. 2.8
 Ведомость деталей

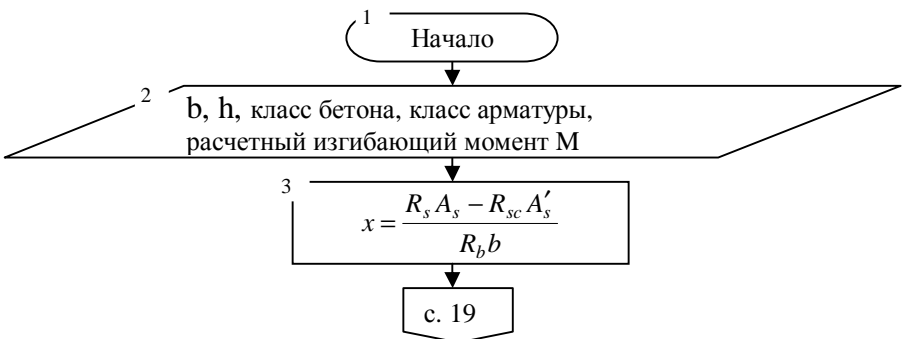
Поз.	Эскиз
5	

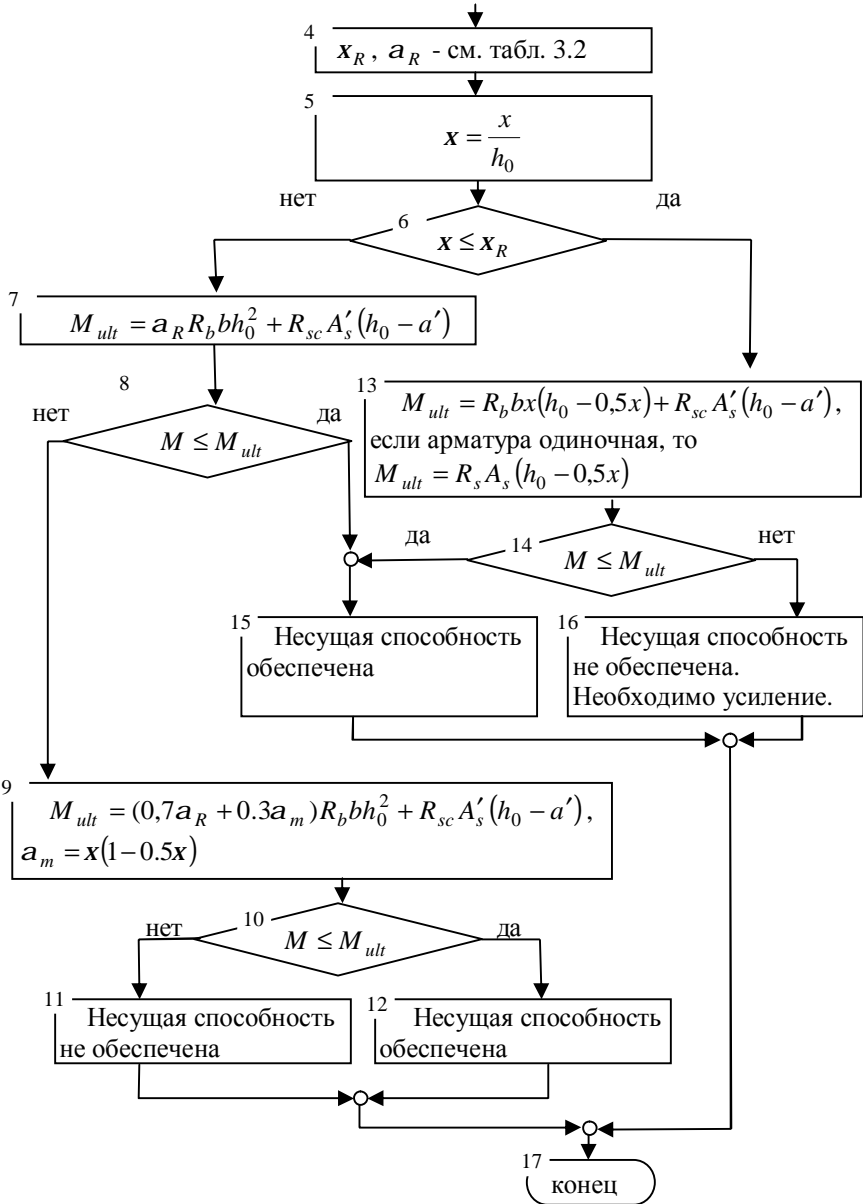
Табл. 2.9
 Ведомость расхода стали, кг

Марка элемента	Изделия арматурные						Всего
	Арматура класса						
	А400			А240			
	ГОСТ 5781-82*			ГОСТ 5781-82*			
	О10	О25	Итого	О8	О12	Итого	
Р-1	7,38	91,84	99,22	13,15	2,104	15,25	114,47

Последовательность расчета при проверке прочности сечения представлена в блок-схеме 2.2.

Блок-схема 2.2 (начало)





Пример расчета 3. (задача типа 2).

Проверить прочность сечения железобетонного элемента (исходные данные см. пример расчета 1, сечение элемента см. рис. 2.3, сжатую

арматуру, установленную конструктивно, в расчетах не учитываем). Расчет ведем по блок-схеме 2.2.

1. Начало.

2. По заданию геометрические размеры изгибаемого железобетонного элемента: $b=250$ мм, $h=550$ мм, $a=40$ мм. Характеристики бетона и арматуры (прил. 1 табл. 1, 2). Бетон тяжелый, класса В20, $R_b = 11.5 \text{ МПа}$. С учетом коэффициента $g_{b2} = 0.9$, принимаемого по п. 2.8, $R_b = 0.9 \cdot 11.5 = 10.35 \text{ МПа}$. Продольная растянутая арматура 3 $\emptyset 25$ класса А-400, $R_s = 355 \text{ МПа}$, $A_s = 1473 \text{ мм}^2$. Изгибающий момент после проведения реконструкции $M=215 \text{ кН}\cdot\text{м}$. $h_0 = 550 - 37.5 = 512.5 \text{ мм}$.

$$3. x = \frac{355 \cdot 1473}{10.35 \cdot 250} = 202.09 \text{ мм}.$$

4. По табл. 3.2 или прил. 1 табл. 3 находим $x_R = 0.531$, $a_R = 0.39$.

$$5. x = \frac{202.09}{512.5} = 0.394.$$

$$6. x = 0.394 < x_R = 0.531$$

13.

$$M_{ult} = 355 \cdot 1473 (512.5 - 0.5 \cdot 202.09) = 215.16 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 215.16 \text{ кНм}.$$

$$14. M_{ult} = 215.16 \text{ кНм} > M = 215 \text{ кНм}$$

15. несущая способность сечения обеспечена.

Пример заполнения контрольного талона проверки решения задачи:

Фамилия студента: Иванов группа: 03-401 Преподаватель: Седов

Вариант задания: 1

Контролируемый параметр	R_b , МПа	γ_{b2}	h_0 , мм	x , мм	ξ	M_{ult} , кНм
Значение	10,35	0,9	512,5	202,09	0,394	215,16

17. Конец

Индивидуальные задания для решения задач типа 1 (по изгибающему моменту M_1) и типа 2 (по изгибающему моменту M_2).

Таблица 2.10

Варианты заданий

№	b, мм	h, мм	Класс бетона	Класс арматуры	M_1 , кН*м	M_2 , кН*м
1	300	600	B20	A-400	208,3	215
2	300	600	B25	A-400	262,8	270
3	250	500	B30	A-400	202,4	220
4	200	400	B15	A-400	52,3	60
5	250	550	B20	A-300	104,5	120
6	200	450	B25	A-400	113,7	120
7	200	400	B30	A-300	53,0	60
8	250	500	B15	A-400	144,8	150
9	200	500	B20	A-300	154,5	170
10	300	700	B35	A-400	240,3	255
11	300	700	B30	A-300	275,5	300
12	200	550	B15	A-400	156,3	170
13	300	600	B20	A-400	265,9	270
14	200	450	B25	A-400	119,5	125
15	250	550	B30	A-300	118,9	125
16	250	600	B25	A-400	200,4	220
17	200	450	B25	A-400	150	170
18	200	400	B30	A-300	160	170
19	250	500	B15	A-400	163	170
20	200	500	B25	A-300	200	215
21	250	400	B30	A-400	130	150
22	200	550	B15	A-300	150,9	165
23	250	450	B25	A-400	114,7	120
24	200	500	B30	A-300	102,0	120
25	300	700	B35	A-400	249,1	270

3. Расчет элементов таврового профиля на прочность по сечениям, нормальным к продольной оси

Цель – обеспечить несущую способность железобетонного элемента таврового сечения.

Задачи - подобрать необходимую площадь сечения продольной сжатой и растянутой арматуры в железобетонном элементе таврового профиля; проверить прочность сечения железобетонного элемента, выполнить конструирование.

Перед выполнением задания следует изучить разделы 3.14 – 3.26 Пособия к СНиП 52-01-2003, и материалы лекции № _____, а также ответить на контрольные вопросы.

Таблица 3.1

Контрольные вопросы.

<p>1. В каких случаях изгибаемый элемент таврового профиля рассчитывается как прямоугольный с шириной $b = b'_f$?</p>	<p>а) если требуется установка сжатой арматуры по расчету б) если граница сжатой зоны бетона проходит в стенке ($x > h'_f$). в) если граница сжатой зоны бетона проходит в полке ($x < h'_f$).</p>
<p>2. По какому принципу формируется поперечное приведенное двутавровое сечение плит с круглыми пустотами?</p>	<p>а) от общей площади сечения вычитают сумму площадей пустот. б) суммируют толщину ребер и вычитают из ширины плиты. в) приравниваются моменты инерции круглого и квадратного сечений отверстий.</p>
<p>3. Назовите основной параметр таврового сечения, принимаемый при назначении расчетного значения свесов полок.</p>	<p>а) h'_f. б) h_0. в) b.</p>
<p>4. Назовите минимальное значение толщины защитного слоя бетона монолитного элемента, эксплуатируемого в помещении при нормальной влажности.</p>	<p>а) 15 мм. б) 20 мм. в) 25 мм.</p>
<p>5. Минимальный диаметр продольной рабочей растянутой арматуры изгибаемого элемента составляет ...</p>	<p>а) 16 мм. б) 14 мм. в) 12 мм.</p>

6. Минимальное расстояние между стержнями в свету при горизонтальном положении стержней составляет:	а) 15 мм. б) 20 мм. в) 25 мм.
7. Что делать, если $M > M_{ult}$	а) усилить элемент. б) изменить b , h . в) изменить R_b , R_s

Методика расчета элемента таврового профиля по сечениям, нормальным к продольной оси, практически не отличается от расчета элемента прямоугольного профиля – производится лишь учет работы бетона полки тавра.

Особенностью конструирования железобетонного элемента таврового профиля является необходимость установки арматуры в полке. Схема усилий и эпюра напряжений в поперечном сечении элемента представлена на рис. 3.1.

При расчете изгибаемых элементов таврового профиля по прочности сечений, нормальных к продольной оси, рассматривается прямая задача (подбор арматуры, тип 1 и 1а) и обратная задача (проверка прочности, тип 2).

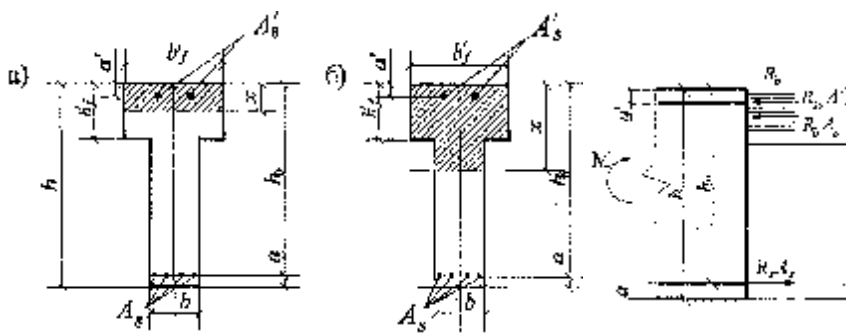
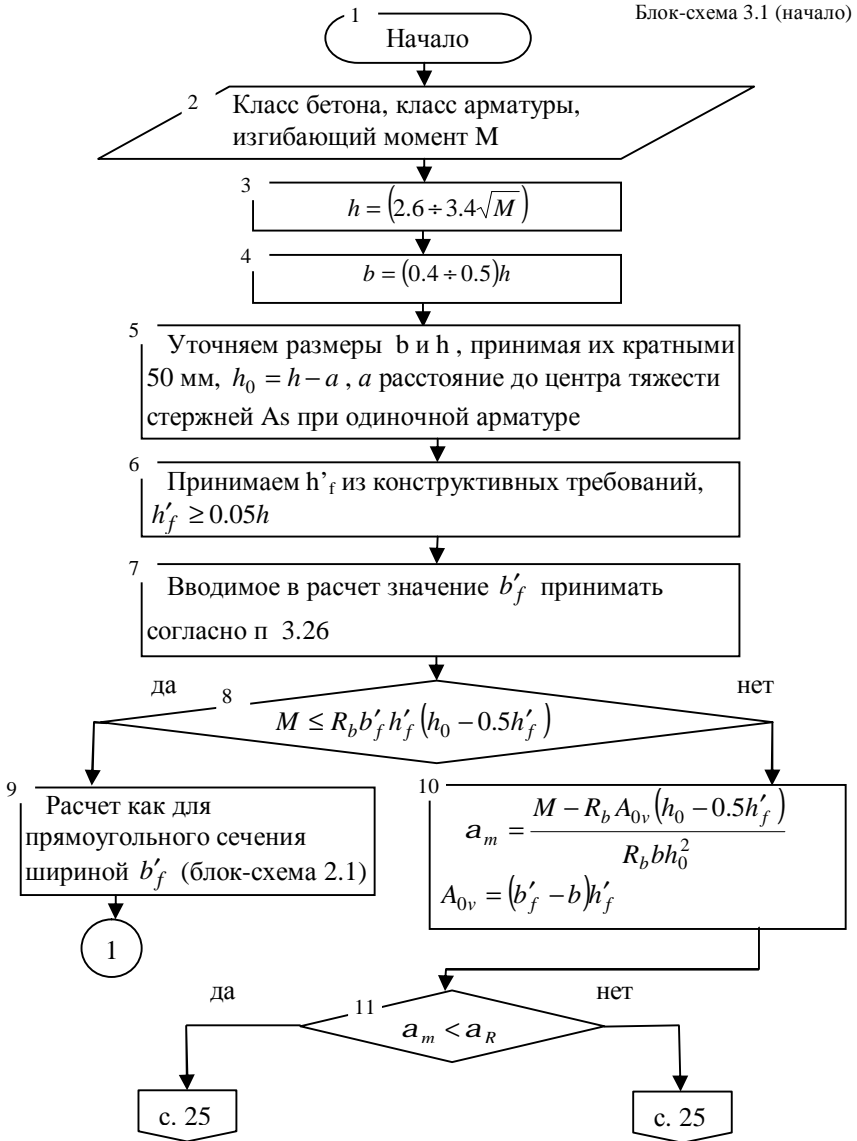
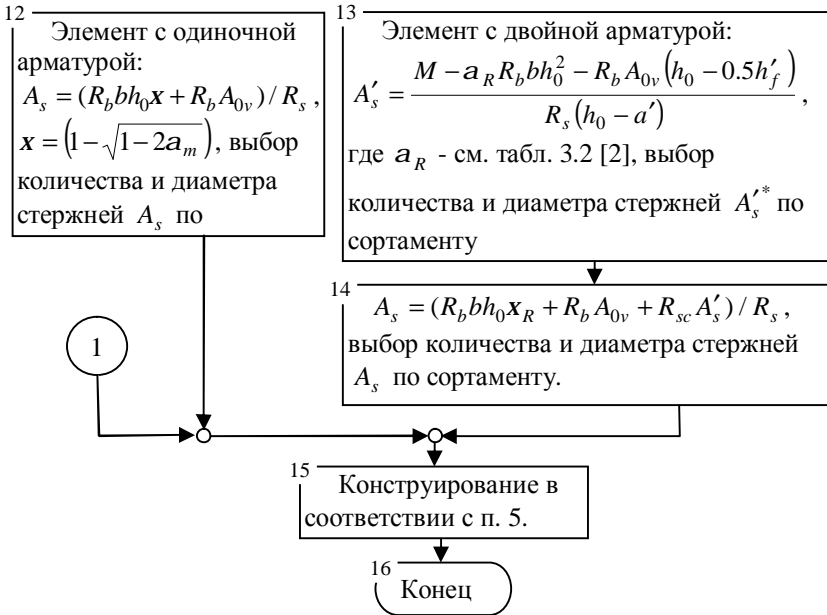


Рис. 3.1. Схема усилий и эпюра напряжений в поперечном сечении элемента; положение границы сжатой зоны в тавровом сечении изгибаемого железобетонного элемента a – в полке; b – в ребре

В тексте использованы ссылки на пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003).

- Последовательность решения задачи типа 1 и 1а представлена в блок-схеме 3.1





Пример расчета 1. (задача типа 1).

Назначить размеры и подобрать одиночную растянутую арматуру в монолитном ригеле таврового сечения пролетом 5,1 м. Расчет ведем по блок-схеме 3.1.

1. Начало.

2. Характеристики бетона и арматуры (прил. 1 табл. 1, 2).. Бетон тяжелый, класса В30, $R_b = 22 \text{ МПа}$. С учетом коэффициента $g_{b2} = 0.9$, принимаемого по п. 2.8, $R_b = 0.9 \cdot 22 = 19,8 \text{ МПа}$. Продольная рабочая арматура класса А-400, $R_s = 355 \text{ МПа}$. Изгибающий момент $M = 300 \text{ кН*м}$.

По табл. 3.2 или прил. 1 табл. 3 находим $x_R = 0.531$, $a_R = 0.39$.

3. $h = 3\sqrt{300} = 52 \text{ см} = 520 \text{ мм}$.

4. $b = 0.4 \cdot 480 = 192 \text{ мм}$.

5. Принимаем $b = 200 \text{ мм}$, $h = 550 \text{ мм}$ – кратно модулю 50 мм; $200/550 = 0,36$. По п. 5 принимаем $a = 65 \text{ мм}$, $a' = 30 \text{ мм}$. Уточняем значение h_0 по принятому значению высоты h : $h_0 = 550 - 65 = 485 \text{ мм}$.

6. $h'_f \geq 0.05 \cdot 550 = 27,5 \text{ мм}$, принимаем $h'_f = 60 \text{ мм}$.

7. $h'_f = 60 \text{ мм} > 0.1 \cdot 550 = 55 \text{ мм}$, $b'_f = 6 \cdot 60 = 360 \text{ мм}$.

8.

$M = 298кНм > 19,8 \cdot 360 \cdot 60(485 - 0,5 \cdot 60) = 194,59 \cdot 10^6 Н \cdot мм = 194,59кНм$ - граница сжатой зоны проходит в ребре.

$$9. a_m = \frac{298 \cdot 10^6 - 19,8 \cdot 9600(485 - 0,5 \cdot 60)}{19,8 \cdot 200 \cdot 485^2} = 0,227, \text{ здесь}$$

$$A_{0v} = (360 - 200)60 = 9600мм^2.$$

11. $a_m = 0,227 < a_R = 0,39$ - установка сжатой арматуры не требуется.

12. $A_s = (19,8 \cdot 200 \cdot 485 \cdot 0,261 + 19,8 \cdot 9600) / 355 = 1948,44мм^2$. Здесь

$$x = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,227}) = 0,261. \text{ По сортаменту (прил. 2 табл. 1)}$$

принимаем 4 \emptyset 25 $A_s = 1963мм^2$, $\Delta = \frac{1963 - 1948,44}{1948,44} 100\% = 0,7\%$.

15. Конструирование элемента см. рис. 3.2.

Арматурные стержни располагаем в два ряда.

Расстояние между стержнями продольной растянутой арматуры по вертикали в свету принимаем 30 мм. Тогда толщина защитного слоя составляет $65 - 25 - 30 / 2 = 25мм$ - что кратно 5 мм. Фиксацию арматуры осуществляем с помощью устройств однократного использования.

Так как ригель монолитный, то строповочных петель не предусматриваем.

Продольную сжатую арматуру принимаем конструктивно 2 \emptyset 8 класса А240.

Поперечную арматуру назначаем из условий свариваемости по табл. 2 прил. 2 класса А240 диаметром 8 мм и устанавливаем конструктивно с шагом 230 мм (что не более $0,5h_0 = 242,5мм$). Монтажную арматуру принимаем конструктивно диаметром 8 мм класса А240 и устанавливаем с шагом 500 мм согласно п. 5.18.

В полке тавра конструктивно устанавливаем сетку из арматуры класса В500 (диаметр стержней 4 мм, шаг 200 мм).

Пример заполнения контрольного талона проверки решения задачи:

Фамилия студента: Иванов группа: 03-401 Преподаватель: Седов

Вариант задания: 1

Контролируемый параметр	R_b , МПа	γ_{b2}	h_0 , мм	α_m	ξ	A_s , мм ²	A'_s , мм ²
Значение	19,8	0,9	485	0,227	0,261	1948,44	-

16. Конец.

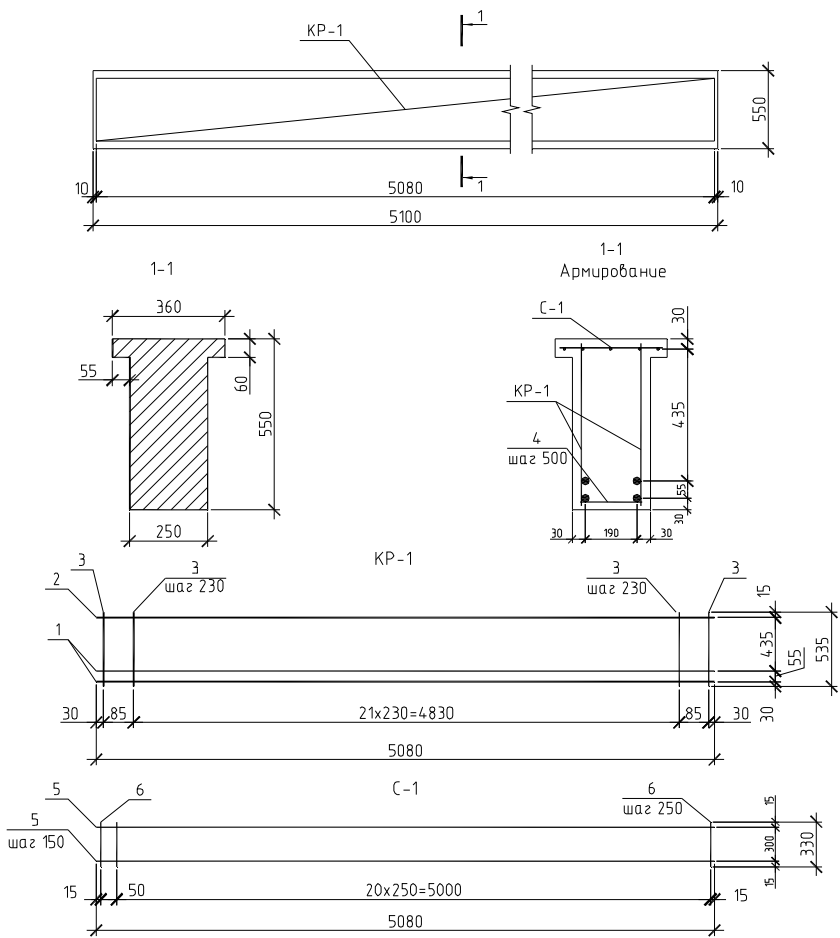


Рис. 3.2. Конструирование элемента (к примеру расчета 1).

Табл. 3.2

Спецификация монолитного ригеля МР-1

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание
<i>Сборные единицы</i>				
КР-1		Каркас КР-1	2	45,88
С-1		Сетка С-1	1	2,181
<i>Детали</i>				
4		О8 А240 l=230	22	0,091
<i>Материалы</i>				
		Бетон В20		0,735 м3

Табл. 3.3

Спецификация арматурных изделий

Марка изделия	Поз.	Наименование	Кол.	Масса 1дет., кг	Масса изд., кг
КР-1	1	∅ 25 А400, l=5080	2	19,51	45,88
	2	∅ 8 А240, l=5080	1	2,007	
	3	∅ 8 А240, l=535	23	0,211	
С-1	5	∅ 4 В500, l=5080	3	0,467	2,061
	6	∅ 4 В500, l=330	22	0,03	

Табл. 3.4

Ведомость расхода стали, кг

Марка элемента	Изделия арматурные							Всего
	Арматура класса							
	А240		А400		В500			
	ГОСТ 5781-82*		ГОСТ 5781-82*		ГОСТ 5781-82*			
	О8	Итого	О25	Итого	О4	Итого	Итого	
Р-1	15,72	15,72	78,04	78,04	2,061	2,061	95,821	

Пример расчета 2 (задача типа 1 а).

Подобрать растянутую арматуру в монолитном изгибаемом элементе таврового сечения. Расчет ведем по блок-схеме 3.1.

1. Начало.

2. По заданию геометрические размеры изгибаемого железобетонного элемента: $b=300$ мм, $h=600$ мм, $b'_f=480$ мм, $h'_f=100$ мм, $a=38$ мм. Пролет

элемента б м. Характеристики бетона и арматуры: бетон тяжелый, класса В15, $R_b = 8,5 \text{ МПа}$. С учетом коэффициента $g_{b2} = 0,9$, принимаемого по п. 2.8, $R_b = 0,9 \cdot 8,5 = 7,65 \text{ МПа}$.

Продольная рабочая арматура класса А-400, $R_s = 355 \text{ МПа}$. Изгибающий момент $M = 149 \text{ кН*м}$.

По табл. 3.2 или прил. 1 табл. 3 находим $x_R = 0,531$, $a_R = 0,39$.

3. $h = 600 \text{ мм}$ - по заданию.

4. $b = 300 \text{ мм}$ - по заданию.

5. $h_0 = 600 - 38 = 562 \text{ мм}$.

6. $h'_f = 100 \text{ мм}$ - по заданию.

7. $b'_f = 480 \text{ мм}$ - по заданию.

8. $M = 149 \text{ кНм} < 7,65 \cdot 480 \cdot 100 (562 - 0,5 \cdot 100) = 188,01 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 188,01 \text{ кНм}$ - граница сжатой зоны проходит в полке.

Блок-схема 2.1 п. 6. $a_m = \frac{188,01 \cdot 10^6}{7,65 \cdot 480 \cdot 562^2} = 0,128$.

Б.с. 2.1 п. 7. $a_m = 0,128 < a_R = 0,39$ - сжатая арматура не требуется.

Б.с. 2.1 10. $x = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,128}) = 0,137$

Б.с. 2.1 11 $A_s = \frac{7,65 \cdot 480 \cdot 562 \cdot 0,137}{355} = 796,4 \text{ мм}^2$. Принимаем 4 $\emptyset 16$

$A_s = 804 \text{ мм}^2$. $\Delta = \frac{804 - 796,4}{796,4} 100\% = 0,9\%$.

15. Конструирование элемента см. рис. 3.3.

Толщина защитного слоя $a - d / 2 = 38 - 16 / 2 = 30 \text{ мм}$ - что кратно 5 мм. Фиксацию арматуры осуществляем с помощью устройств однократного использования. Так как ригель монолитный, то строповочных петель не предусматриваем. Расстояние между стержнями по горизонтали в свету принимаем 40 мм. Продольную сжатую арматуру принимаем конструктивно 4 $\emptyset 4$ $A'_s = 251 \text{ мм}^2$ класса В500. Поперечную арматуру назначаем из условий свариваемости по табл. 2 прил. 2 класса В500 диаметром 4 мм и устанавливаем с шагом 250 мм (что не более $0,5h_0 = 281 \text{ мм}$).

Монтажную арматуру для соединения плоских каркасов принимаем конструктивно диаметром 4 мм класса В500 и устанавливаем с шагом 600 мм согласно п. 5.18.

В полке тавра конструктивно устанавливаем сетку из арматуры класса В500 (диаметр стержней 4 мм, шаг поперечных стержней 200 мм).

Пример заполнения контрольного талона проверки задачи:

Фамилия студента: Иванов группа: 03-401

Преподаватель: Седов

Вариант задания: 1

Контролируемый параметр	R_b , МПа	γ_{b2}	h_0 , мм	α_m	ξ	A_{s2} , мм ²	A'_{s2} , мм ²
Значение	7,65	0,9	562	0,128	0,37	796,4	-

16. Конец.

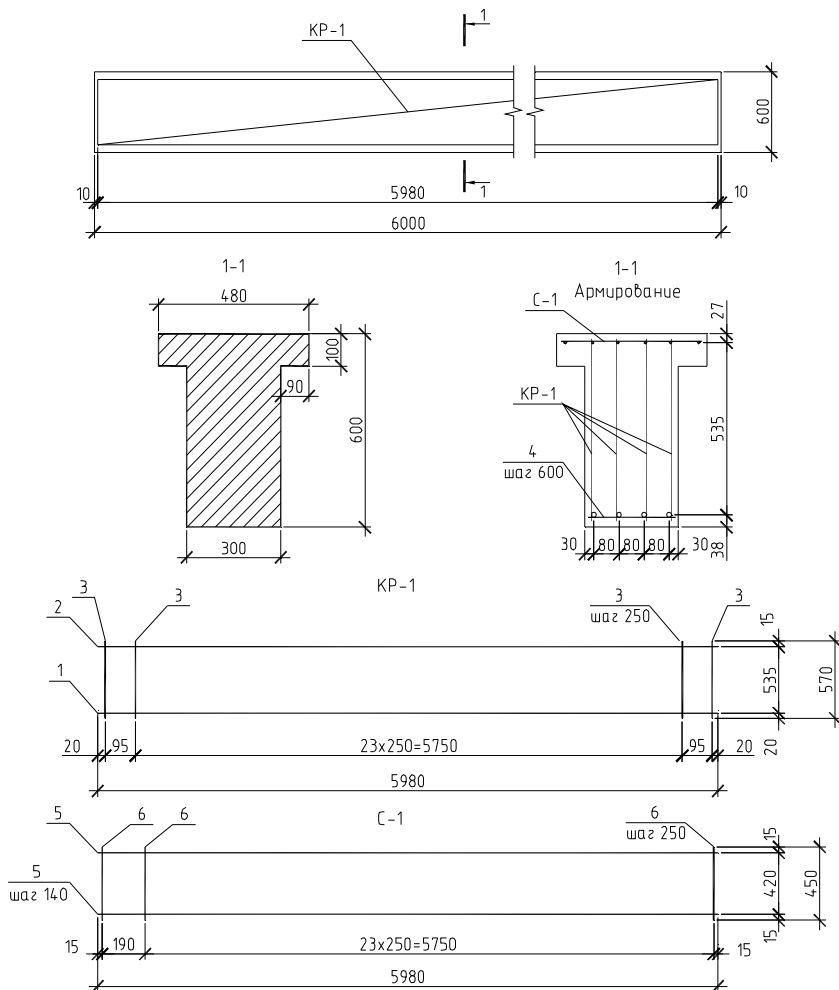


Рис. 3.3. Конструирование элемента (к примеру расчета 2).

Табл. 3.5

Спецификация монолитного ригеля МР-1

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание
<i>Сборные единицы</i>				
КР-1		Каркас КР-1	4	11,34
С-1		Сетка С-1	1	2,675
<i>Детали</i>				
4		О4 В500 l=270	22	0,025
<i>Материалы</i>				
		Бетон В20		1,188 м3

Табл. 3.6

Спецификация арматурных изделий

Марка изделия	Поз.	Наименование	Кол.	Масса 10м., кг	Масса изд., кг
КР-1	1	∅ 16 А400, l=5980	1	9,436	11,34
	2	∅ 4 В500, l=5980	1	0,55	
	3	∅ 4 В500, l=570	26	0,052	
С-1	5	∅ 4 В500, l=5980	4	0,55	3,225
	6	∅ 4 В500, l=450	25	0,041	

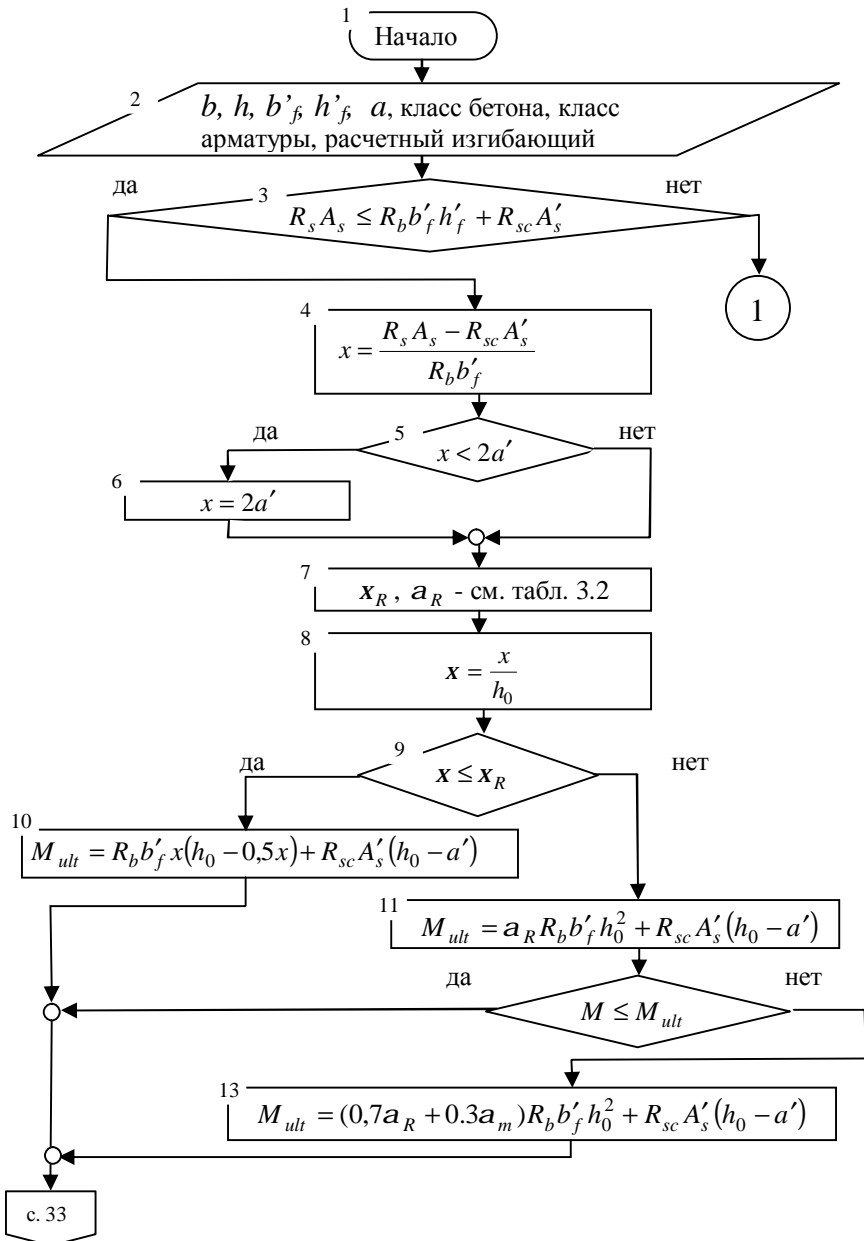
Табл. 3.7

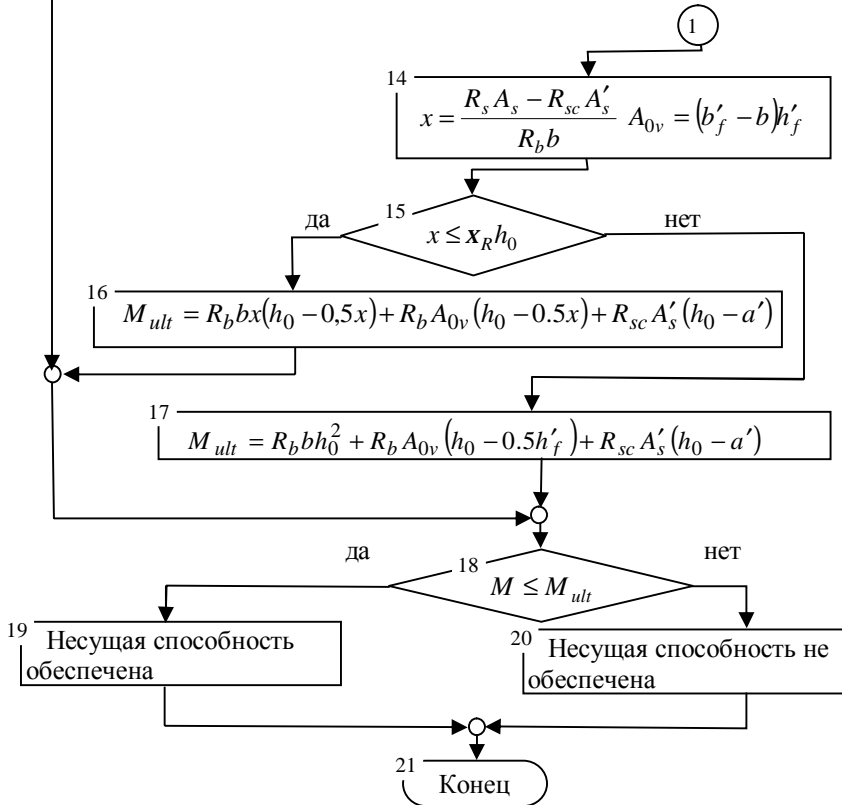
Ведомость расхода стали, кг

Марка элемента	Изделия арматурные						Всего
	Арматура класса						
	В500			А400			
	ГОСТ 5781-82*			ГОСТ 5781-82*			
	О4		Итого	О16		Итого	
Р-1	11,38		11,38	37,74		37,74	49,12

- Последовательность проверки прочности сечения представлена в блок-схеме 3.2:

Блок-схема 3.2 (начало)





Пример расчета 3 (задача типа 2).

Проверить прочность элемента. Расчет ведем по блок-схеме 3.2.

1. Начало.

2. По заданию геометрические размеры изгибаемого железобетонного элемента (см. рис. 3.3): $b=300$ мм, $h=600$ мм, $b'_f=480$ мм, $h'_f=100$ мм, $a=a'=38$ мм. Бетон тяжелый, класса В25, $R_b=14,5$ МПа. С учетом коэффициента $g_{b2}=0,9$, принимаемого по п. 2.8, $R_b=0,9 \cdot 19,5=13,05$ МПа. Продольная растянутая арматура класса А-400, $R_s=355$ МПа, $4 \text{ } \emptyset 16 \text{ } A_s=804 \text{ мм}^2$. Продольная сжатая арматура класса В500, $R_{cs}=360$ МПа, $4 \text{ } \emptyset 4 \text{ } A'_s=251 \text{ мм}^2$. Изгибающий момент после проведения реконструкции $M=150$ кН*м. $h_0=600-38=562$ мм.

3. $355 \cdot 804 = 285420 \text{ Н} < 13,05 \cdot 480 \cdot 100 + 360 \cdot 251 = 716760 \text{ Н}$ - граница сжатой зоны проходит в полке.

$$4. x = \frac{355 \cdot 804 - 360 \cdot 251}{13,05 \cdot 480} = 31,14 \text{ мм} .$$

$$5. x = 31,14 \text{ мм} < 2a' = 72 \text{ мм} .$$

$$6. x = 2a' = 72 \text{ мм}$$

7. По табл. 3.2 находим $x_R = 0.531$, $a_R = 0.39$.

$$8. x = \frac{72}{562} = 0,128 .$$

$$9. x = 0,128 < x_R = 0.531$$

10.

$$M_{ult} = 13,05 \cdot 480 \cdot 72(562 - 0,5 \cdot 72) + 360 \cdot 251(562 - 27) = 284,67 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$18. M_{ult} = 284,67 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 284,67 \text{ кНм} > M = 150 \text{ кНм} .$$

19. Несущая способность обеспечена.

Пример заполнения контрольного талона проверки решения задачи:

Фамилия студента: Иванов группа: 03-401 Преподаватель: Седов

Вариант задания: 1

Контролируемый параметр	R _b , МПа	γ _{b2}	h ₀ , мм	x, мм	ξ	M _{ult} , кНм
Значение	13,05	0,9	562	72	0,128	284,67

21. Конец.

Индивидуальные задания для решения задач типа 1 (по изгибающему моменту M_1) и типа 2 (по изгибающему моменту M_2).

Таблица 3.8

Варианты заданий

№	b, мм	h, мм	b'f, мм	h'f, мм	Класс бетона	Класс арматуры	M_1 , кН*м	M_2 , кН*м
1	250	600	430	60	B25	A-300	135,0	145
2	200	500	410	60	B20	A-400	128,0	140
3	150	300	450	60	B35	A-300	56,4	60
4	180	400	460	50	B15	A-400	101,7	110
5	200	500	430	50	B25	A-300	89,0	100
6	180	400	410	50	B20	A-400	79,1	85
7	150	300	420	60	B35	A-300	48,8	55
8	150	300	490	60	B15	A-400	54,2	60
9	250	600	460	60	B25	A-300	152,5	160
10	200	500	470	50	B20	A-400	86,4	90
11	200	500	440	60	B35	A-300	133,9	140
12	180	400	480	50	B15	A-400	82,4	90
13	250	600	400	60	B25	A-300	160,6	165
14	150	300	450	60	B20	A-400	58,8	65
15	180	400	480	50	B35	A-300	83,5	90
16	250	600	430	60	B15	A-400	132,8	140
17	180	400	470	50	B25	A-300	82,0	90
18	200	500	410	60	B20	A-400	136,0	140
19	150	300	490	50	B35	A-300	50,5	55
20	250	600	420	60	B30	A-400	195,0	200
21	150	300	450	60	B25	A-300	45,7	50
22	180	400	460	50	B20	A-400	101,7	105
23	200	500	440	50	B35	A-300	85,5	90

4. Расчет железобетонных элементов на прочность по сечениям, наклонным к продольной оси

Цель – обеспечить несущую способность изгибаемого железобетонного элемента по сечениям, наклонным к продольной оси.

Задача – подобрать необходимую площадь сечения и шаг поперечной арматуры в железобетонном элементе, проверить прочность элемента по сечениям, наклонным к продольной оси, по полосе между наклонными трещинами.

Перед выполнением задания следует изучить разделы 3.29 – 3.48 Пособия к СНиП 52-01-2003 и материалы лекции № _____, а также ответить на контрольные вопросы.

Таблица 4.1

Контрольные вопросы.

1. Записать расчетное условие, обеспечивающее прочность по наклонному сечению без поперечной арматуры.	а) $Q \leq 0.3R_b b h_0$. б) $Q \leq 0,3j_{w1} j_{b1} R_b b h_0$. в) $Q \geq 0.3R_b b h_0$.
2. Чем определяется прочность ригеля по наклонной полосе между наклонными сечениями?	а) поперечной силой, воспринимаемой бетоном. б) поперечной силой, воспринимаемой поперечной арматурой. в) поперечной силой, воспринимаемой бетоном и поперечной арматурой.
3. В каких случаях поперечную арматуру можно не устанавливать?	а) если поперечная сила, воспринимаемая бетоном, больше поперечной силы в наклонном сечении от внешних нагрузок. б) если высота элемента менее 300 мм. в) если обеспечена прочность элемента по наклонному сечению.
4. Как записать условие прочности по наклонному сечению в балках с поперечной арматурой?	а) $Q \leq Q_b - Q_{sw}$. б) $Q \leq Q_b + Q_{sw}$. в) $Q \geq Q_b + Q_{sw}$.

5. Записать расчетное условие, обеспечивающее прочность по наклонным сечениям на действие изгибающего момента.	а) $M \geq M_s + M_{sw}$. б) $M \leq M_s + M_{sw}$. в) $M \leq M_s - M_{sw}$.
6. Какая арматура может быть использована в качестве поперечной?	а) любая. б) А240. в) А240, А300, А400, А500, В500.
7. Какие требования к диаметру поперечной арматуры в сварных каркасах?	а) диаметр поперечной арматуры не менее 0.25 диаметра продольной. б) диаметр поперечной арматуры не менее 4 мм. в) диаметр поперечной арматуры не менее 6 мм.
8. С каким шагом следует устанавливать поперечную арматуру в железобетонных элементах, в которых поперечная сила не может быть воспринята только бетоном?	а) не более $0,5h_0$ и 300 мм. б) не более $0,5h_0$ и 200 мм. в) не более $0,75h_0$ и 300 мм.

Изгибаемыми называют элементы, в которых в поперечном сечении при действии внешней нагрузки возникает изгибающий момент и поперечная сила в зависимости от схемы приложения нагрузки (рис. 4.1). Поэтому расчет по прочности железобетонного элемента производят на действие изгибающего момента (по сечениям, нормальным к продольной оси) и поперечной силы (по сечениям, наклонным к продольной оси).

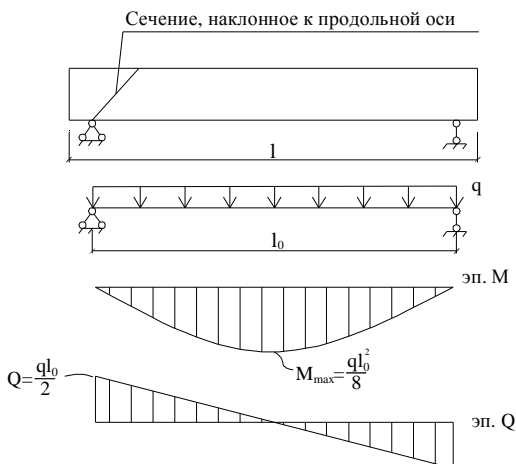


Рис. 4.1. Изгибаемый элемент.

В тексте использованы ссылки на пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003).

При расчете изгибаемых элементов по прочности сечений, наклонных к продольной оси, рассматривается прямая задача (подбор поперечной арматуры: шага и диаметра) и обратная задача (проверка прочности сечения).

Расчет элементов по наклонным сечениям должен обеспечить прочность:

- по полосе между наклонными сечениями (блок-схема 4.1);
- на действие поперечной силы по наклонному сечению (блок-схема 4.2);
- на действие изгибающего момента по наклонному сечению (блок-схема 4.3).

Необходимость выполнения расчетов по подбору арматуры определяется двумя условиями:

- конструктивными (в соответствии с п. 5.18 – 5.28), по которым уточняется необходимость установки поперечной арматуры по конструктивным соображениям;
- условие прочности бетонного сечения элемента $Q_{\max} \leq 2,5R_{br}bh_0$.

При выполнении условия необходимо руководствоваться требованиями п. 5.20 -5.21 по конструированию, при невыполнении условия поперечная арматура устанавливается по расчету (см. блок-схему 4.3).

Минимальный диаметр поперечной арматуры для сварных каркасов принимается из условия свариваемости, для вязаных каркасов в соответствии с п. 5.20 не менее 6 мм.

- **Расчет изгибаемых железобетонных элементов по полосе между наклонными трещинами.**

Схема усилий в полосе между наклонными сечениями представлена на рис. 4.2.

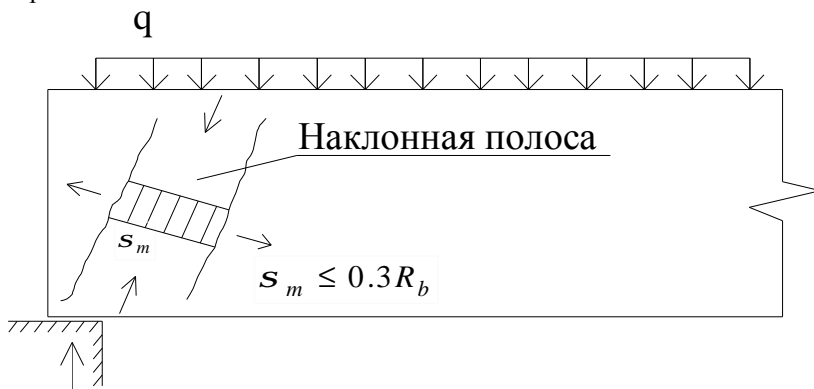
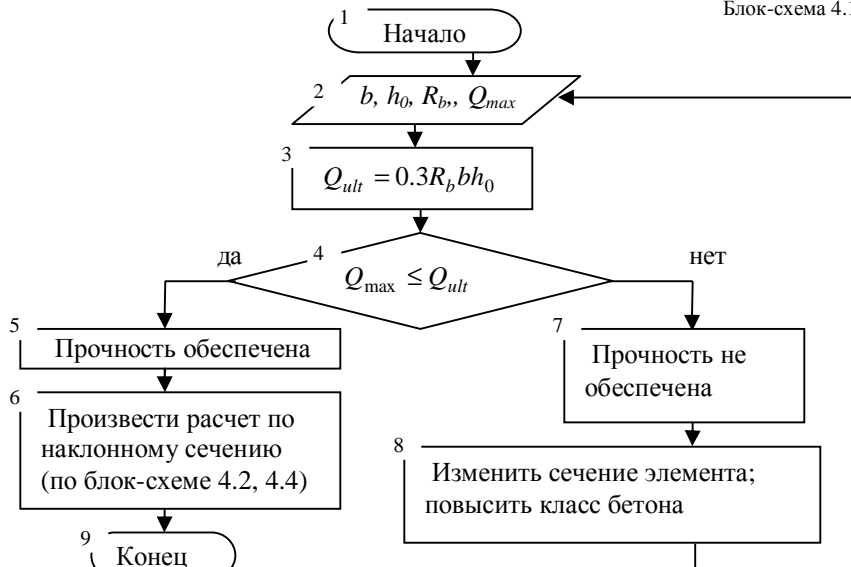


Рис. 4.2. Схема усилий в наклонной полосе.

- **Последовательность расчета представлена в блок-схеме № 4.1.**

Блок-схема 4.1



Пример расчета 1.

Проверить прочность элемента по полосе между наклонными трещинами. Расчет ведем по блок-схеме № 4.1.

1. Начало.

2. Исходные данные см. практическое занятие №2 пример расчета 1.

Характеристики бетона и арматуры (прил. 1 табл. 1, 2). Бетон тяжелый, класса В20, $R_b = 11,5 \text{ МПа}$. С учетом коэффициента $g_{b2} = 0,9$, принимаемого по п. 2.8, $R_b = 0,9 \cdot 11,5 = 10,35 \text{ МПа}$.

Геометрические размеры изгибаемого железобетонного элемента: $b=250 \text{ мм}$, $h=550 \text{ мм}$, $a=37,5 \text{ мм}$, $a'=30 \text{ мм}$, $h_0 = 550 - 37,5 = 512,5 \text{ мм}$. Опираение элемента – шарнирное. Сечение элемента см. рис. 2.3.

Изгибающий момент в пролете равен $M = \frac{ql^2}{8} = 213 \text{ кНм}$. Тогда

распределенная нагрузка q будет равна: $q = \frac{8M}{l^2} = \frac{8 \cdot 213}{6^2} = 47,33 \text{ кН/м}$.

Значение перерезывающей силы на опоре будет равно:

$$Q_{\max} = \frac{ql}{2} = \frac{47,33 \cdot 6}{2} = 142 \text{ кН}.$$

$$3. Q_{ult} = 0,3 \cdot 10,35 \cdot 250 \cdot 512,5 = 397,83 \cdot 10^3 \text{ Н} = 397,83 \text{ кН}.$$

$$4. Q_{ult} = 397,83 \text{ кН} > Q_{\max} = 142 \text{ кН}.$$

5. Прочность элемента по полосе между наклонными трещинами обеспечена.

6. Произвести расчет по наклонному сечению (по блок-схеме 4.2, 4.3)

9. Конец.

• **Проверка прочности железобетонных элементов по сечениям, наклонным к продольной оси, на действие поперечной силы.**

Схема усилий в наклонном сечении элементов с хомутами при расчете на действие поперечной силы представлена на рис. 4.3, последовательность расчета на действие поперечной силы в блок-схеме 4.2.

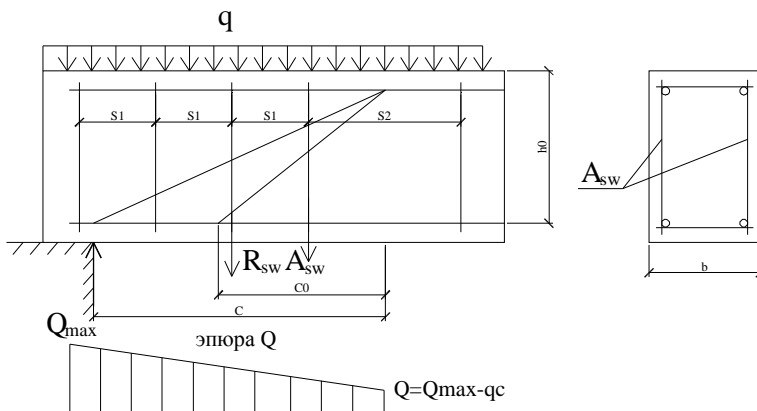
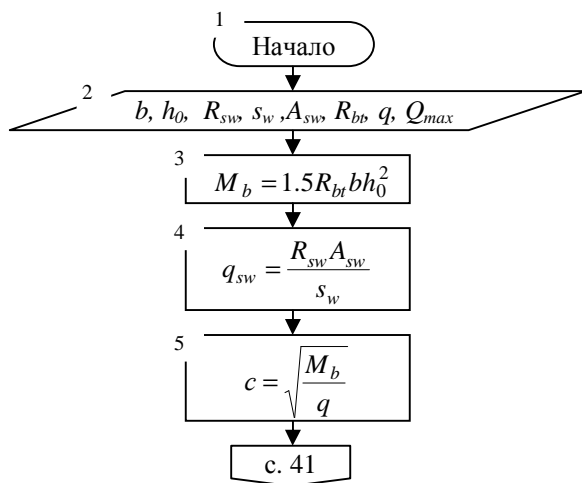
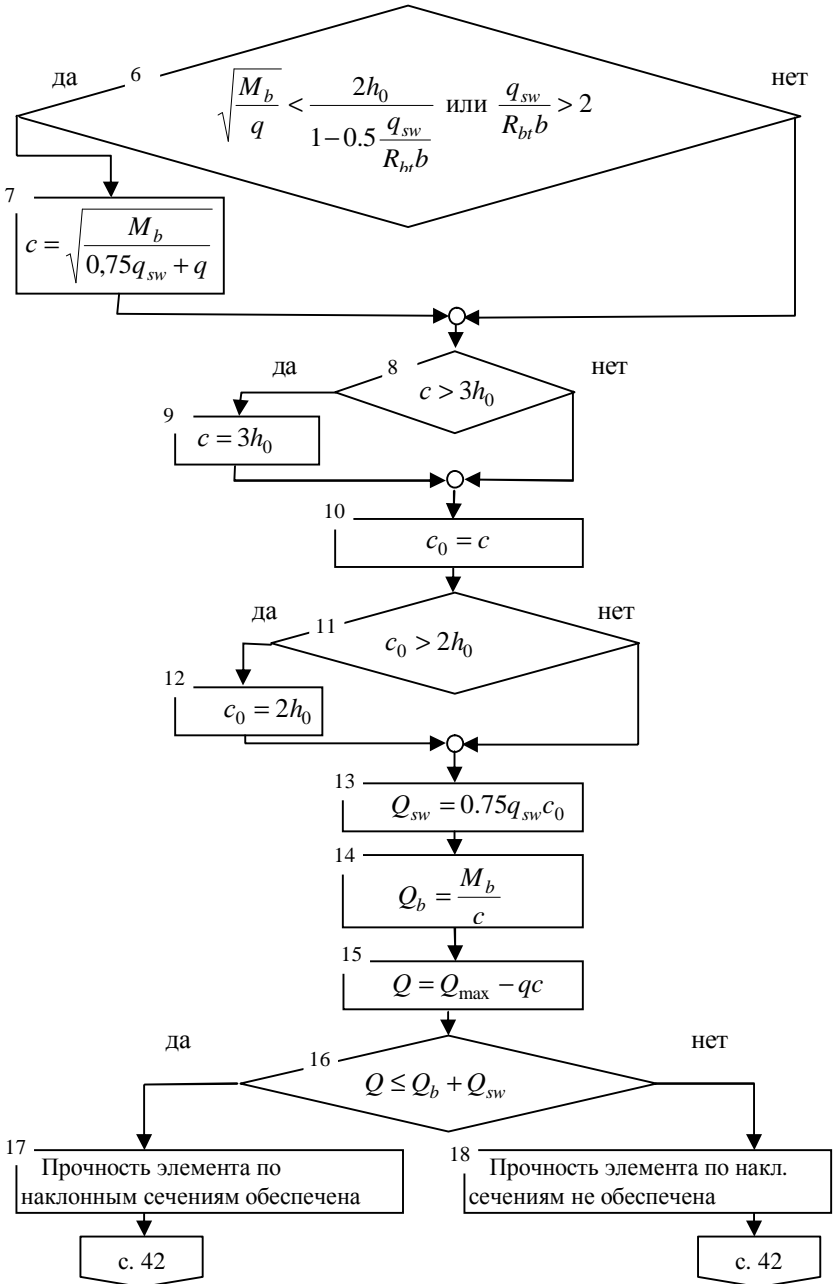
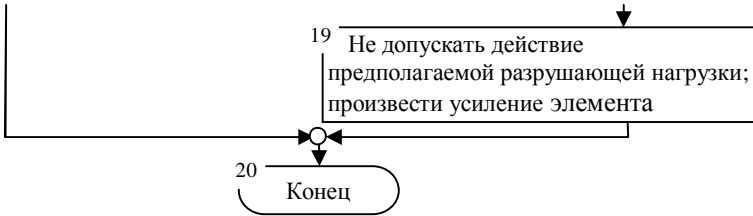


Рис. 4.3. Схема усилий в сечении, наклонном к продольной оси элемента с хомутами

Блок-схема 4.2 (начало)







Пример расчета 2. Проверить прочность наклонного сечения по поперечной силе. Расчет ведем по блок-схеме 4.2.

1. Начало.

2. Исходные данные см. практическое занятие №2 пример расчета 1.

Характеристики бетона и арматуры (прил. 1 табл. 1, 2). Бетон тяжелый, класса В20, $R_{bt} = 0,9 \text{ МПа}$. С учетом коэффициента $g_{b2} = 0,9$, принимаемого по п. 2.8, $R_b = 0,9 \cdot 0,9 = 0,81 \text{ МПа}$.

Геометрические размеры изгибаемого железобетонного элемента: $b=250 \text{ мм}$, $h=550 \text{ мм}$, $a=37,5 \text{ мм}$, $a'=30 \text{ мм}$, $h_0 = 550 - 37,5 = 512,5 \text{ мм}$. Сечение элемента см. рис. 2.3.

Поперечная арматура класса А240 $R_{sw} = 170 \text{ МПа}$ диаметром 8 мм

($A_{sw} = 151 \text{ мм}^2$) установлена с шагом $s = 250 \text{ мм}$.

Распределенная нагрузка $q = 47,33 \text{ кН/м}$. Значение перерезывающей силы на опоре $Q_{\max} = 142 \text{ кН}$.

$$3. M_b = 1,5 \cdot 0,81 \cdot 250 \cdot 512,5^2 = 79,78 \cdot 10^6 \text{ Нмм} = 79,78 \text{ кНм}.$$

$$4. q_{sw} = \frac{170 \cdot 151}{250} = 102,68 \text{ Н/мм}.$$

$$5. c = \sqrt{\frac{79,78 \cdot 10^6}{47,33}} = 1298 \text{ мм}.$$

$$6. 1298 \text{ мм} > \frac{2 \cdot 512,5}{1 - 0,5 \frac{68,68}{0,81 \cdot 250}} = 1234 \text{ мм}, \quad \frac{68,68}{0,81 \cdot 250} = 0,33 < 2.$$

$$8. c = 1298 \text{ мм} < 3h_0 = 1537,5 \text{ мм}.$$

$$10. c_0 = c = 1298 \text{ мм}.$$

$$11. c_0 = 1298 \text{ мм} > 2h_0 = 1025 \text{ мм}.$$

$$12. \text{Принимаем } c_0 = 2h_0 = 1025 \text{ мм}.$$

$$13. Q_{sw} = 0,75 \cdot 102,68 \cdot 1025 = 78935 \text{ Н} = 78,935 \text{ кН}.$$

$$14. Q_b = \frac{79,78 \cdot 10^6}{1298} = 61463H = 61,463кН .$$

$$15. Q = 142 - 47,33 \cdot 1,298 = 80,57кН .$$

$$16. Q = 80,57кН < 61,463 + 78,935 = 140,398кН .$$

17. Прочность элемента по сечениям, наклонным к продольной оси обеспечена.

Пример заполнения контрольного талона проверки решения задачи:

Фамилия студента: Иванов группа: 03-401 Преподаватель: Седов

Вариант задания: 1

Контролируемый параметр	R_{bt} , МПа	M_b , кНМ	h_0 , мм	c , мм	c_0 , мм	Q_{sw} , кН	Q_b , кН
Значение	0,81	79,78	512,5	1298	1025	78,935	61,463

20. Конец

- **Расчет изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие изгибающего момента.**

Схема усилий в наклонном сечении при расчете его по изгибающему моменту представлена на рис. 4.4.

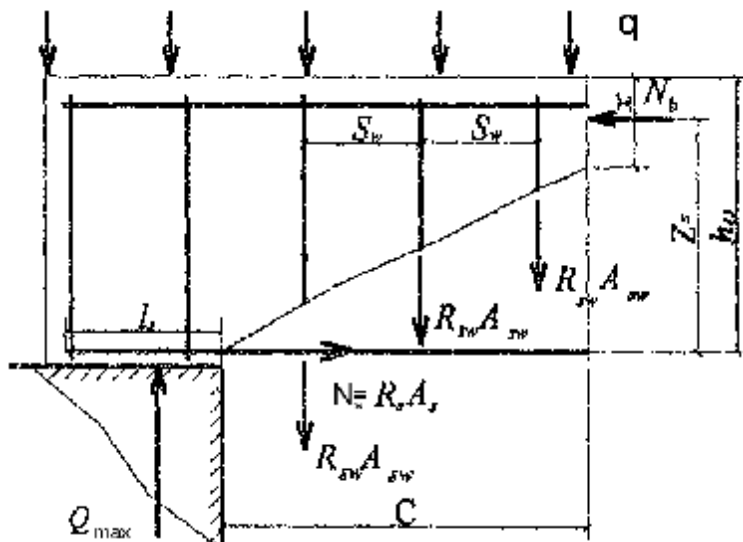


Рис. 4.4. Схема усилий в наклонном сечении при расчете его по изгибающему моменту

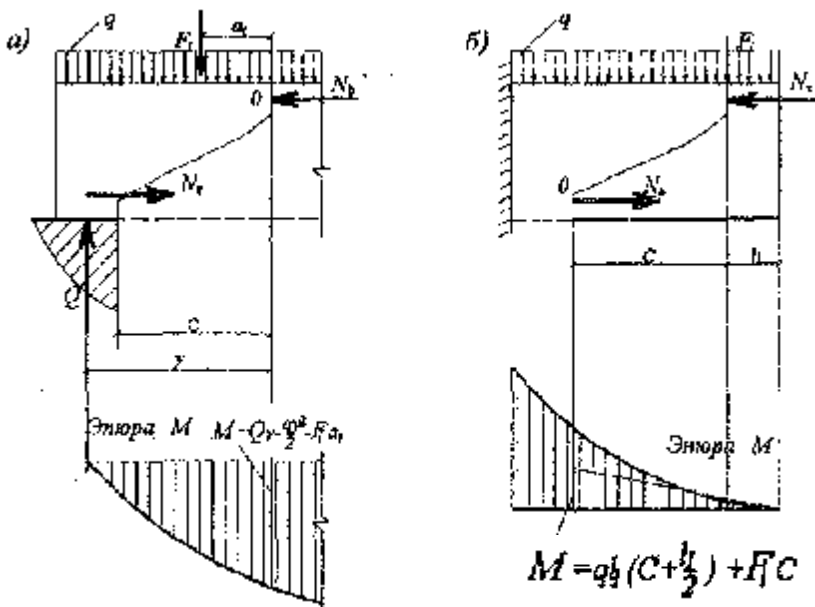
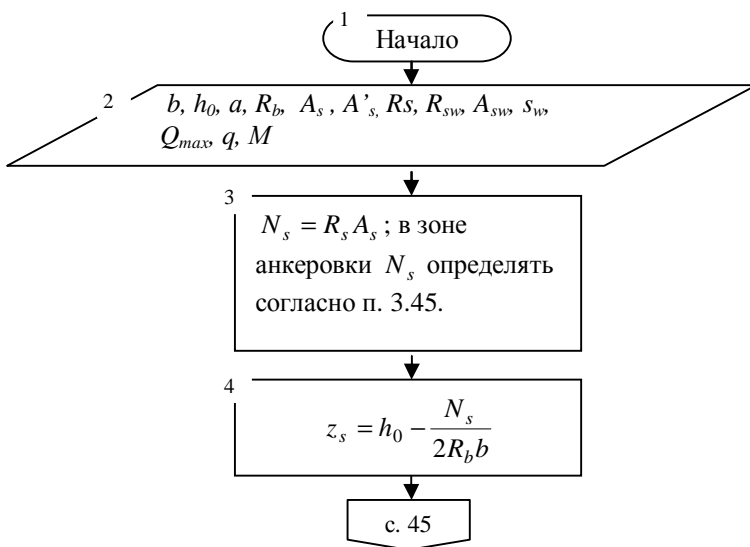


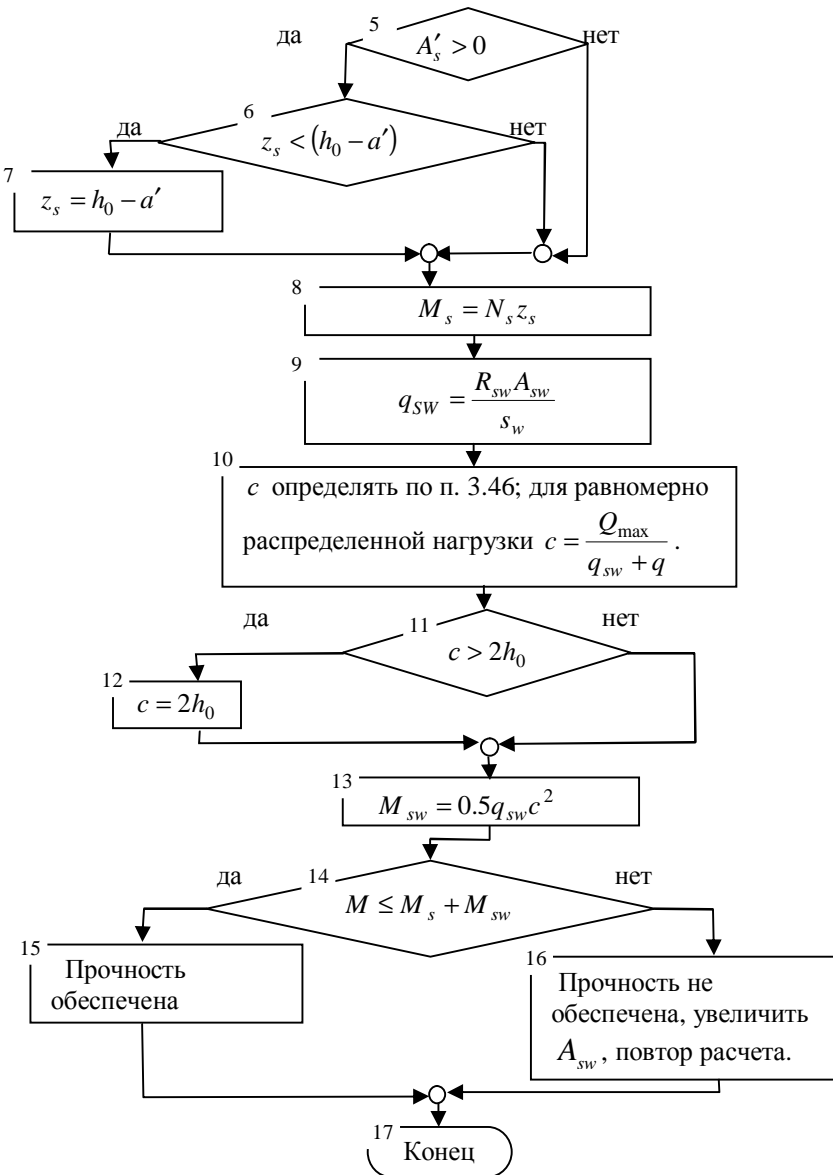
Рис. 4.5. Определение расчетного значения момента при расчете наклонного сечения, а) для свободно опертой балки, б) для консоли.

- **Последовательность расчета изгибаемых железобетонных элементов по сечениям, наклонным к продольной оси, на действие изгибающего момента представлена в блок-схеме 4.3.**

Блок-схема 4.3 (начало)



Блок-схема 4.3 (окончание)



Пример расчета 3.

Проверить прочность сечения, наклонного к продольной оси, на действие изгибающего момента. Расчет ведем по блок-схеме 4.3.

1. Начало.

2. Исходные данные см. пример расчета 2 и практическое занятие №2 пример расчета 1. Сечение элемента см. рис. 2.3.

Характеристики бетона и арматуры (прил. 1 табл. 1, 2). Бетон тяжелый, класса В20, $R_b = 11,5 \text{ МПа}$. С учетом коэффициента $g_{b2} = 0,9$, принимаемого по п. 2.8 [2], $R_b = 0,9 \cdot 11,5 = 10,35 \text{ МПа}$. Продольная растянутая арматура 3 \emptyset 25 класса А-400, $R_s = 355 \text{ МПа}$, $A_s = 1473 \text{ мм}^2$. Продольная сжатая арматура 3 \emptyset 8 класса А-240, $R_{sc} = 215 \text{ МПа}$, $A'_s = 151 \text{ мм}^2$

$$3. N_s = 355 \cdot 1473 = 522915 \text{ Н} = 522,915 \text{ кН} .$$

$$4. z_s = 512,5 - \frac{522,915 \cdot 10^3}{2 \cdot 10,35 \cdot 250} = 411,45 \text{ мм} .$$

$$5. A'_s > 0 .$$

$$6. z_s = 411,5 \text{ мм} < (512,5 - 30) = 482,5 \text{ мм} .$$

$$7. z_s = 512,5 - 30 = 482,5 \text{ мм}$$

$$8. M_s = 522,915 \cdot 10^3 \cdot 482,5 = 252,31 \cdot 10^6 \text{ Нмм} = 252,31 \text{ кНм} .$$

$$9. q_{sw} = \frac{170 \cdot 151}{250} = 102,68 \text{ Н / мм} .$$

$$10. c = \frac{142 \cdot 10^3}{102,68 + 47,33} = 946,6 \text{ мм} .$$

$$11. c = 946,6 \text{ мм} < 2h_0 = 1025 \text{ мм} .$$

$$13. M_{sw} = 0,5 \cdot 102,68 \cdot 946,6^2 = 46 \cdot 10^6 \text{ Нмм} = 46 \text{ кНм} .$$

14.

$$M = Qc - \frac{qc^2}{2} = 142 \cdot 946,6 - \frac{47,33 \cdot 946,6^2}{2} = -21,07 \cdot 10^6 \text{ Нмм} = -21,07 \text{ кНм} .$$

$$M = -21,07 \text{ кНм} < 252,31 + 46 = 298,31 \text{ кНм}$$

15. Прочность сечения по изгибающему моменту обеспечена.

Пример заполнения контрольного талона проверки задачи:

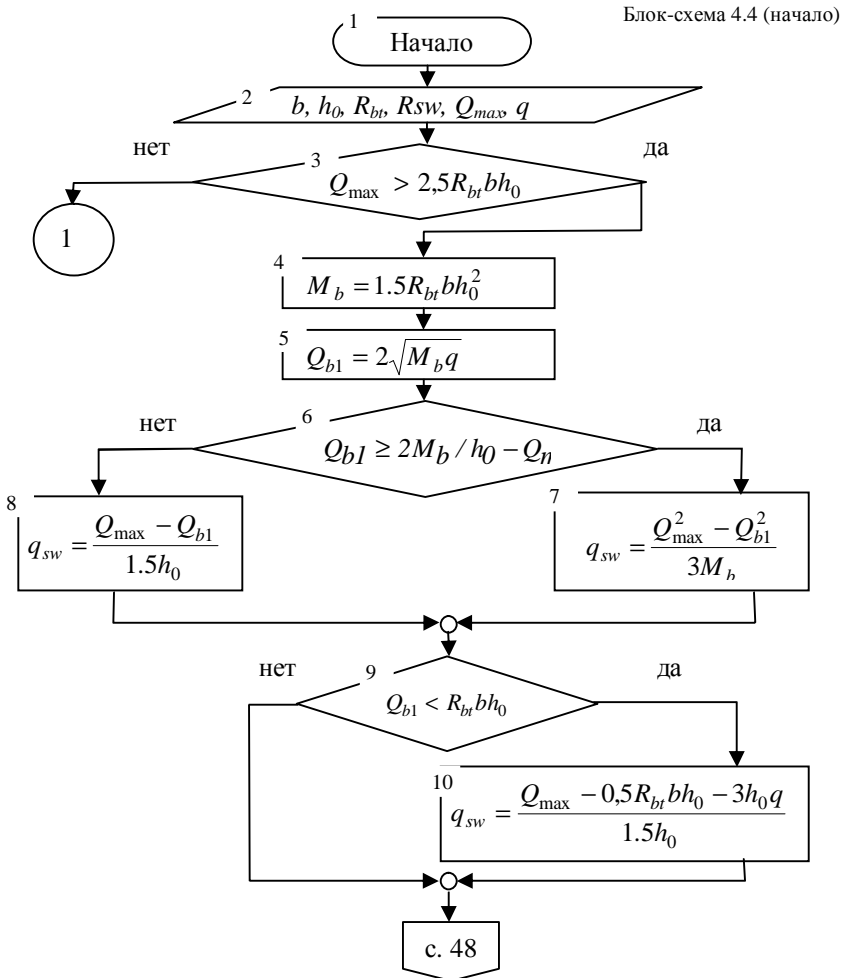
Фамилия студента: Иванов группа: 03-401 Преподаватель: Седов

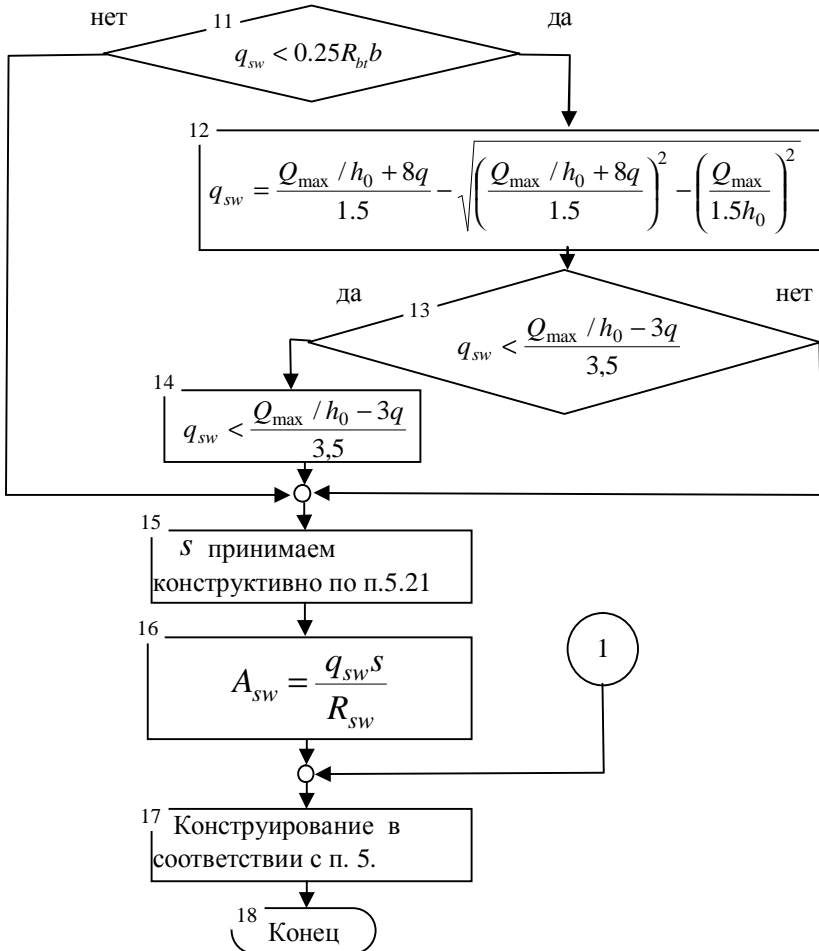
Вариант задания: 1

Контролируемый параметр	R_b , МПа	z_s , мм	M_s , кНМ	q_{sw} , Н/мм	c , мм	M_{sw} , кНМ
Значение	10,35	482,5	252,31	102,68	946,6	46

17. Конец.

- Последовательность подбора поперечной арматуры представлена в блок-схеме 4.4





Пример расчета 4.

Подобрать поперечную арматуру в железобетонном элементе. Расчет ведем по блок-схеме 4.4.

1. Начало.

2. Характеристики бетона и арматуры. Бетон тяжелый, класса В25, $R_b = 14.5 МПа$, $R_{bt} = 1.05 МПа$. С учетом коэффициента $g_{b2} = 0.9$, принимаемого по п. 2.8 [2], $R_b = 0.9 \cdot 14.5 = 13.05 МПа$, $R_{bt} = 0.9 \cdot 1.05 = 0.945 МПа$. Продольные стержни из арматуры класса

A400 $R_s = 355 \text{ МПа}$ ($A_s = 1963 \text{ мм}^2$ 4 \emptyset 25, $A'_s = 226 \text{ мм}^2$ 2 \emptyset 12).
 Поперечная арматура класса В500, $R_{sw} = 300 \text{ МПа}$.

Геометрические размеры изгибаемого железобетонного элемента: $b=200 \text{ мм}$, $h=450 \text{ мм}$, $a=65 \text{ мм}$, $a'=30 \text{ мм}$. Пролет элемента 6 м.

Поперечная сила в наклонном сечении $Q=204 \text{ кН}$, равномерно распределенная нагрузка $q=68 \text{ кН/м}$. $h_0 = 450 - 65 = 385 \text{ мм}$.

3. $Q = 204 \text{ кН} > 2,5 \cdot 0,945 \cdot 200 \cdot 385 = 181913 \text{ Н} = 181,913 \text{ кН}$ - требуется установка поперечной арматуры по расчету.

$$4. M_b = 1,5 \cdot 0,945 \cdot 200 \cdot 385^2 = 42,02 \cdot 10^6 \text{ Нмм} = 42,02 \text{ кНм}.$$

$$5. Q_{b1} = 2 \cdot \sqrt{42,02 \cdot 68} = 106,91 \text{ кН}.$$

$$6. Q_{b1} = 106,91 \text{ кН} > 2 \cdot 42,02 / 0,385 - 204 = 14,295 \text{ кН}.$$

$$7. q_{sw} = \frac{204^2 - 106,91^2}{3 \cdot 42,02} = 239,45 \text{ кН/м}.$$

$$9. Q_{b1} = 106,91 > 0,945 \cdot 200 \cdot 385 = 72765 \text{ Н} = 72,765 \text{ кН}.$$

$$11. q_{sw} = 239,45 \text{ кН/м} > 0,25 \cdot 0,945 \cdot 200 = 47,25 \text{ кН/м}.$$

15. Принимаем шаг стержней поперечной арматуры $s = 190 \text{ мм}$ (не более $0,5h_0 = 192,5 \text{ мм}$).

$$16. A_{sw} = \frac{239,45 \cdot 190}{300} = 151,65 \text{ мм}^2, \text{ принимаем } 2 \emptyset 10 \quad A_{sw} = 157 \text{ мм}^2$$

класса В500. $\Delta = \frac{157 - 151,65}{151,65} 100\% = 3,5\%$.

17. Конструирование элемента см. рис. 4.6 и 4.7.

Монтажные петли принимаем аналогично примеру расчета 1 практических занятий №2.

Пример заполнения контрольного талона проверки решения задачи:

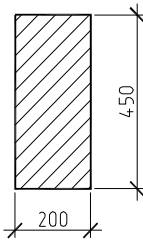
Фамилия студента: Иванов группа: 03-401 Преподаватель: Седов

Вариант задания: 1

Контролируемый параметр	R_{bt} , МПа	M_b , кНм	h_0 , мм	Q_{b1} , кН	q_{sw} , кН/м	s , м	A_{sw} , мм ²
Значение	0,945	42,02	385	106,91	239,45	190	151,65

18. Конец.

1-1
Опалубочный чертеж



1-1
Армирование

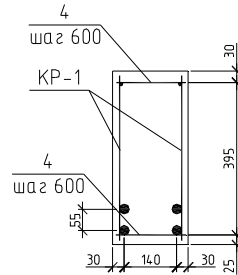


Рис. 4.6. Конструирование элемента (к примеру расчета 4).

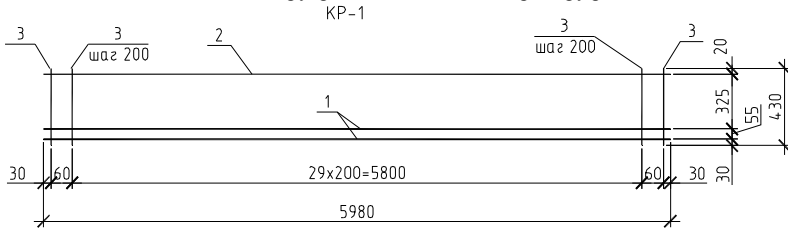


Рис. 4.7. Конструирование элемента (к примеру расчета 4).

Табл. 4.2

Спецификация сборного ригеля Р-1

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание
<i>Сборные единицы</i>				
КР-1		Каркас КР-1	2	59,71
<i>Детали</i>				
4		Ø8 В500 l=180	22	0,071
5		Ø12 А240 l=1185	2	1,052
<i>Материалы</i>				
		Бетон В25		0,54 м3

Табл. 4.3
 Спецификация арматурных изделий

Марка изделия	Поз.	Наименование	Кол.	Масса 1дет., кг	Масса изд., кг
КР-1	1	∅ 25 А400, l=5980	2	22,96	59,71
	2	∅ 12 А400, l=5980	1	5,31	
	3	∅ 10 В500, l=430	32	0,265	

Табл. 4.4
 Ведомость деталей

Поз.	Эскиз
5	

Табл. 4.5
 Ведомость расхода стали, кг

Марка элемента	Изделия арматурные								Всего
	Арматура класса								
	А240		А400			В500			
	ГОСТ 5781-82*		ГОСТ 5781-82*			ГОСТ 5781-82*			
	О12	Итого	О12	О25	Итого	О8	О10	Итого	
Р-1	2,104	2,104	10,64	91,84	102,4	1,562	16,96	18,52	123,02

Индивидуальные задания для решения задачи по подбору поперечной арматуры и проверке прочности на действие поперечной силы и изгибающего момента. (Q_{max} – для подбора арматуры, Q_1 – для проверки прочности)

Таблица 4.6

Варианты заданий

№	b, мм	h ₀ , мм	Класс бетона	Класс продольной арматуры	Q_{max} , кН	Q_1 , кН	q, кН/м	A_s , мм ²	M, кН*м
1	300	650	B20	A-300	90	140	15	226	208,3
2	300	600	B25	A-400	100	140	20	339	262,8
3	250	500	B30	A-300	105	150	25	760	202,4
4	200	400	B15	A-400	110	160	30	763	52,3
5	250	550	B20	A-300	120	150	35	402	104,5
6	200	450	B25	A-400	150	180	40	616	113,7
7	200	400	B30	A-300	130	160	15	314	53,0
8	250	500	B15	A-400	160	185	20	628	144,8
9	200	500	B20	A-300	200	243	25	452	154,5
10	300	700	B25	A-400	250	270	30	804	240,3
11	300	650	B30	A-300	220	250	35	509	475,5
12	200	550	B15	A-400	150	197	40	982	156,3
13	300	600	B20	A-300	180	211	15	1018	265,9
14	200	450	B25	A-400	140	186	20	1256	119,5
15	250	550	B30	A-300	100	136	25	763	118,9
16	250	600	B15	A-400	125	154	30	942	200,4
17	200	550	B20	A-300	156	185	35	509	150,9
18	200	450	B25	A-400	160	190	40	760	114,7
19	200	500	B30	A-300	100	140	15	402	102,0
20	300	700	B15	A-400	140	163	20	804	349,1
21	250	600	B20	A-300	120	160	25	616	244

*Класс поперечной арматуры принимать до \emptyset B500, \emptyset б и выше A240.

5. Расчет изгибаемых элементов по раскрытию трещин, нормальных к продольной оси

Цель – обеспечить сопротивление раскрытию трещин ($a_{crc} \leq a_{crc,ult}$).

Задачи:

- определить момент образования трещин,
- найти ширину раскрытия трещин.

Для ответов на вопросы и решения задач предварительно нужно изучить материалы п. 4.1 – 4.6 Пособия к СНиП 52-01-2003 и лекций по курсу «железобетонные и каменные конструкции».

Таблица 5.1

Контрольные вопросы.

1. Какая стадия напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций положена в основу расчета по образованию и раскрытию трещин?	а) первая. б) вторая. в) третья.
2. От действия каких нагрузок производится расчет по образованию и раскрытию трещин?	а) от нормативных нагрузок. б) от расчетных нагрузок. в) от расчетных и нормативных нагрузок.
3. Как вычисляется приведенная площадь сечения?	а) $A_{red} = A_b + A_s$. б) $A_{red} = A_b + a(A_s + A'_s)$. в) $A_{red} = A_b + A_s + A'_s$.
4. Как вычисляется момент инерции приведенного сечения?	а) $I_{red} = I_b + I_{s1} + I_{s2}$. б) $I_{red} = I_b + aI_{s1} + I_{s2}$. в) $I_{red} = I_b + aI_{s1} + aI_{s2}$.
5. Как учитываются неупругие деформации бетона при определении W ?	а) Заменой W на $W_{pl} = Wg$. б) Заменой W на $W_{pl} = \frac{I_{red}}{y_t}$. в) Заменой W на $W_{pl} = a \frac{I_b}{y_t}$.
6. Укажите условие образования трещин.	а) $M_{crc} < M$. б) $M_{crc} > M$. в) $M_{crc} = M$.
7. Как определяется ширина продолжительного раскрытия трещин?	а) $a_{crc} = a_{crc1}$. б) $a_{crc} = a_{crc2}$. в) $a_{crc} = a_{crc3}$.

8. Как определяется ширина непродолжительного раскрытия трещин?	а) $a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3}$. б) $a_{crc} = a_{crc1} - a_{crc2} + a_{crc3}$. в) $a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} + a_{crc3}$.
9. Как найти величину напряжений в растянутой арматуре?	а) $s_s = \frac{M}{z_s A_s}$. б) $s_s = \frac{M}{h_0 (A_s + A'_s)}$. в) $s_s = \frac{M}{0.9 z_s A_s}$.

В тексте использованы ссылки на пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003).

Момент образования трещин без учета неупругих деформаций бетона определяют как для сплошного упругого тела по формуле:

$$M_{crc} = R_{bt,ser} W,$$

где W - момент сопротивления приведенного сечения для крайнего растянутого волокна бетона.

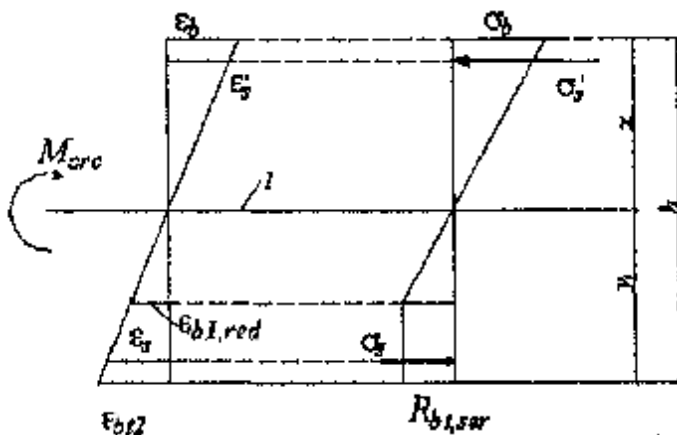


Рис. 5.1. Схема напряженно-деформированного состояния сечения элемента при проверке образования трещин при действии изгибающего момента. 1 – уровень центра тяжести приведенного сечения.

Здесь: e_{bt2} - относительная деформация растянутой грани бетона, e_s и e'_s - относительные деформации растянутой и сжатой арматуры, s_s и s'_s - напряжения в растянутой и сжатой арматуре, $R_{bt,ser}$ - предельные напряжения в бетоне при расчете по второй группе предельных состояний.

Для прямоугольных, тавровых и двутавровых сечений при действии момента в плоскости оси симметрии момента образования трещин с учетом неупругих деформаций растянутого бетона допускается заменять значение W на $W_{pl} = Wg$, где g см. табл. 4.1.

Если трещины образуются, т.е. выполняется условие $M_{cr} < M$, то требуется выполнить расчет по раскрытию трещин.

Ширину раскрытия нормальных трещин определяют по формуле

$$a_{crc} = j_1 j_2 j_3 \alpha_s \frac{S_s}{E_s} l_s,$$

где S_s - напряжение в продольной растянутой арматуре в нормальном сечении с трещиной от соответствующей внешней нагрузки;

l_s - базовое расстояние между смежными нормальными трещинами;

α_s - коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами;

j_1, j_2, j_3 - коэффициенты, определяемые согласно п. 4.10.

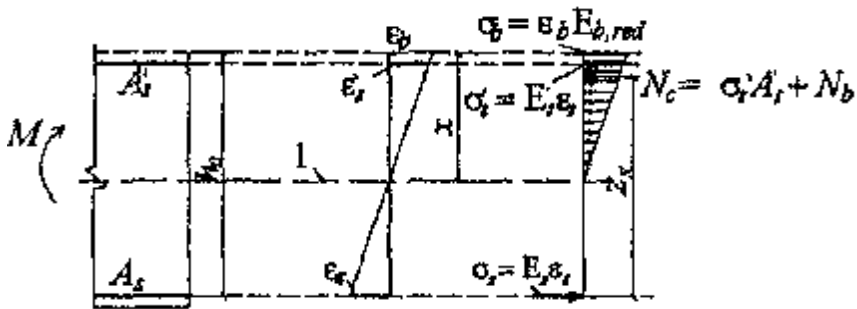


Рис. 5.2. Схема напряженно-деформированного состояния элемента с трещинами при действии изгибающего момента. 1 – уровень центра тяжести приведенного сечения.

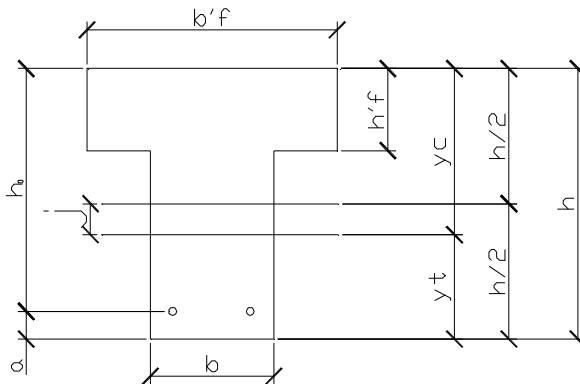


Рис. 5.3. Сечение таврового элемента

Ширину раскрытия трещин принимают равной:

- при продолжительном раскрытии $a_{crc} = a_{crc,1}$;
- при непродолжительном раскрытии $a_{crc} = a_{crc,1} + a_{crc,2} - a_{crc,3}$,

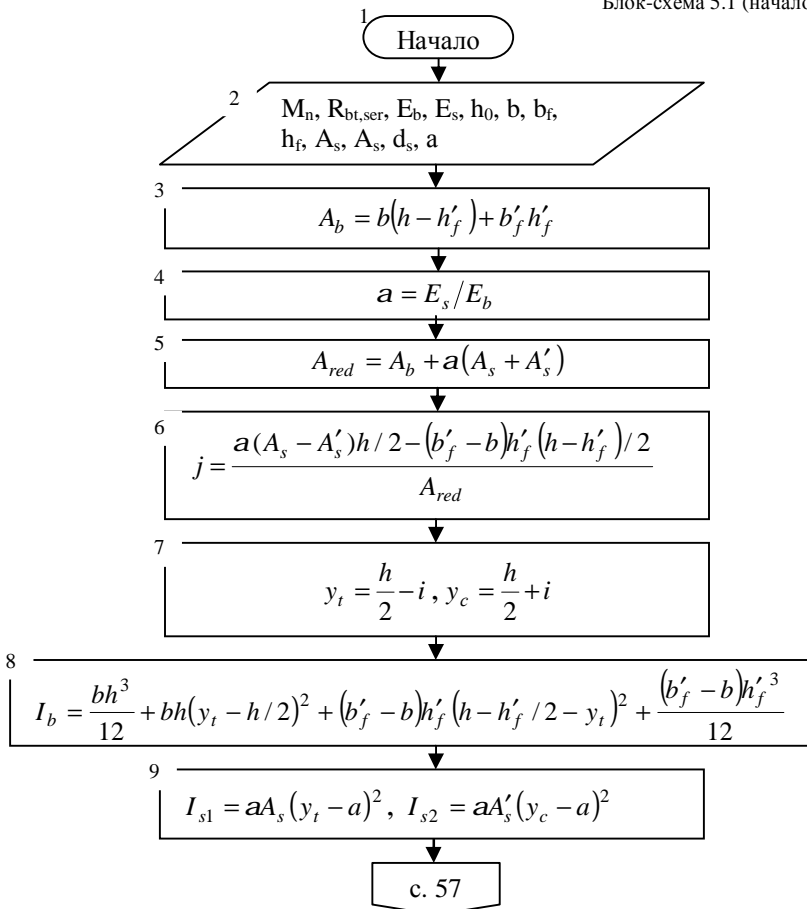
где $a_{crc,1}$ - ширина раскрытия трещин от действия постоянных и длительных нагрузок, $j_1 = 1.4$;

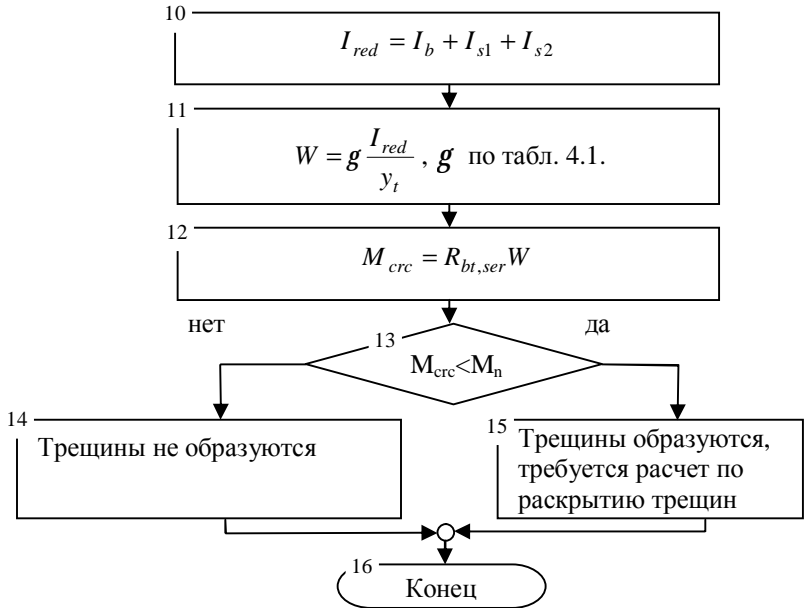
$a_{crc,2}$ - то же, от действия всех нагрузок, $j_1 = 1$;

$a_{crc,3}$ - то же, от действия постоянных и длительных нагрузок, $j_1 = 1$.

- Последовательность определения момента трещинообразования от нормативных нагрузок M_n с учетом неупругих деформаций представлена в блок-схеме 5.1:

Блок-схема 5.1 (начало)





Пример расчета 1.

Определить момент трещинообразования для таврового сечения с размерами $b=250$ мм, $h=600$ мм, $b'_f=480$ мм, $h'_f=50$ мм, $a = a' = 40$ мм. Расчет ведем по блок-схеме 5.1.

1. Начало.

2. Прочностные характеристики бетона. Для бетона класса В20, $R_{bt,ser} = 1.35 МПа = 0.135 кН / см^2$, $E_b = 27500 МПа$.

Для арматуры класса А400 $E_s = 200000 МПа$, $A_s = 565. мм^2 = 5.65 см^2$, $d_s = 12 мм$, $A'_s = 251 мм^2$.

Изгибающий момент от расчетных нагрузок $M=115,4 кН*м$. Изгибающий момент от нормативных нагрузок $M_n = 115.4 / 1.15 = 100.35 кНм = 10035 кНсм$, в т.ч. от длительно действующих $M_{n,l} = 100.35 \cdot 0.85 = 85.3 кНм = 8530 кНсм$.

$$3. A_b = 250 * (600 - 50) + 480 \cdot 50 = 161500 мм^2 = 1615 см^2.$$

$$4. a = 200000 / 27500 = 7.27.$$

$$5. A_{red} = 161500 + 7.27(565 + 251) = 167432.3 мм^2 = 1674.3 см^2.$$

$$6. j = \frac{7.27(565 - 251)600 / 2 - (480 - 250)50(600 - 50) / 2}{167432.3} = -14,8 мм.$$

$$7. y_t = \frac{560}{2} + 14.8 = 294.8 \text{ мм}, y_c = \frac{560}{2} - 14.8 = 265.2 \text{ мм};$$

здесь $h_0 = 600 - 40 = 560 \text{ мм}$.

$$8. I_b = \frac{250 \cdot 600^3}{12} + \frac{(480 - 250) \cdot 50^3}{12} + 250 \cdot 600(294.8 - 600/2)^2 + (480 - 250)50(600 - 50/2 - 294.8)^2 = 54093402933 \text{ мм}^4 = 540934.03 \text{ см}^4.$$

$$9. I_{s1} = 7,27 \cdot 565 \cdot (280 - 40)^2 = 236594880 \text{ мм}^4 = 23659.49 \text{ см}^4,$$

$$I_{s2} = 7,27 \cdot 251 \cdot (265.2 - 40)^2 = 92543283.54 \text{ мм}^4 = 9254.33 \text{ см}^4, \quad \text{здесь}$$

$a_s = 40 \text{ мм}$ - величина защитного слоя растянутой арматуры.

$$10. I_{red} = 540934.03 + 23659.49 + 9254.33 = 573847.85 \text{ см}^4.$$

$$11. W = 1,3 \frac{573847.85}{28} = 26642.94 \text{ см}^3, g = 1.3 \text{ - для элемента таврового}$$

профиля.

$$12. M_{crc} = 0.135 \cdot 26642.94 = 3596.8 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

$$13. M_{crc} = 3596.8 \text{ кН} \cdot \text{см} < M_n = 10035 \text{ кН} \cdot \text{см}$$

15. Трещины образуются, требуется расчет по раскрытию трещин.

Пример заполнения контрольного талона проверки решения задачи:

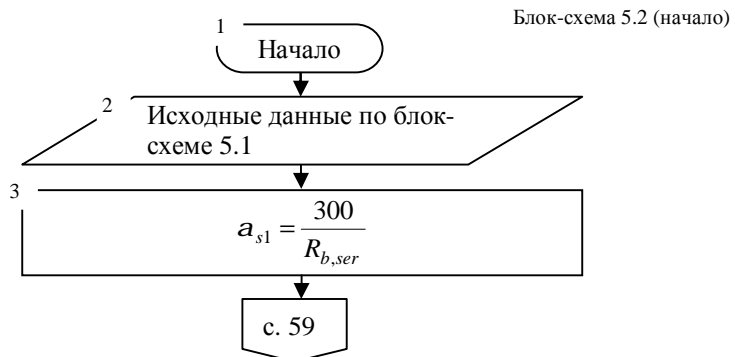
Фамилия студента: Иванов группа: 03-401 Преподаватель: Седов

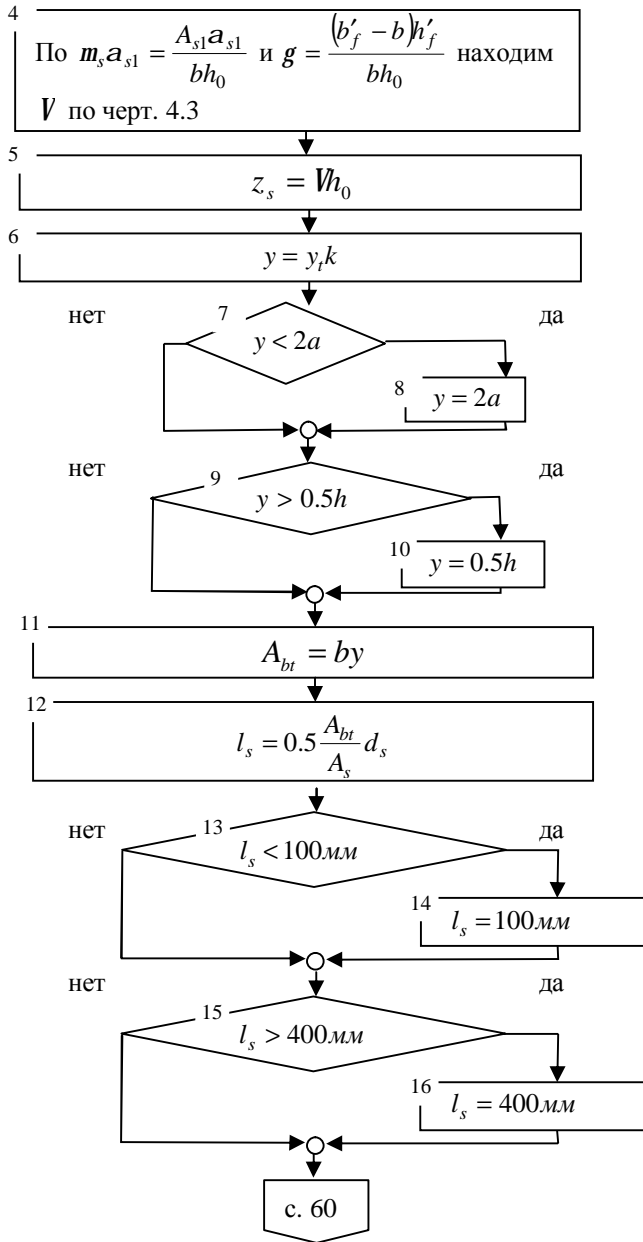
Вариант задания: 1

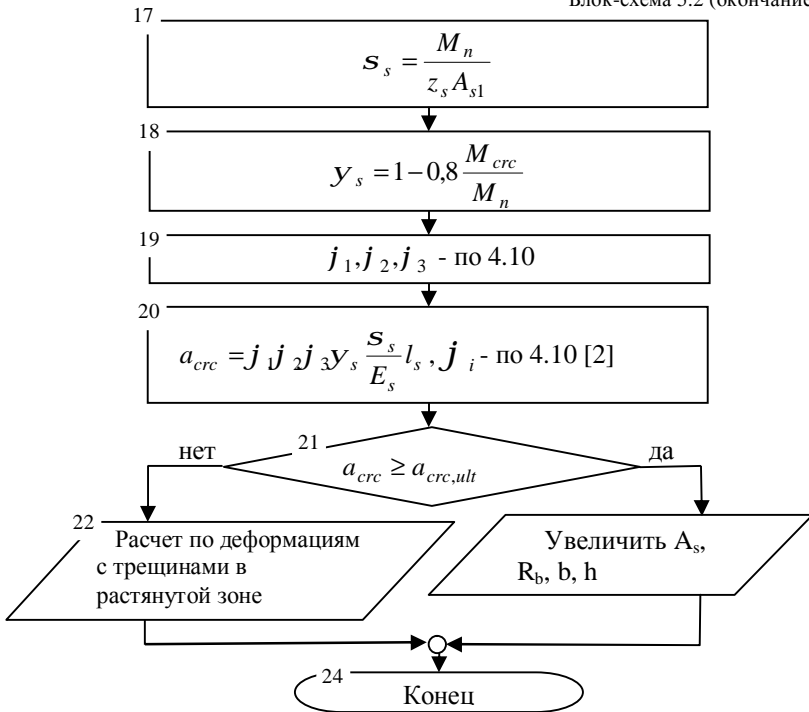
Контролируемый параметр	$R_{bt,ser}$ Мпа	A_{red} , см ²	j , см	y_t , см	I_{red} , см ⁴	W , см ³	M_{crc} , кНм
Значение	1,35	1634,3	-1,48	29,48	540934,03	26642,94	61,463

16. Конец.

- **Последовательность расчета по раскрытию трещин представлена в блок-схеме 5.2:**







Пример расчета 2.

Определить ширину продолжительного раскрытия трещин. Расчет ведем по блок-схеме 5.2.

1. Начало.

2. Исходные данные см. по примеру расчета 1. $M_n = 85.3 \text{ кНм} = 8530 \text{ Нсм}$ - момент от нормативных постоянных и длительных нагрузок.

3. $a_{s1} = \frac{300}{15} = 20$.

4. $m_s a_{s1} = \frac{565 \cdot 20}{250 \cdot 560} = 0,081, g = \frac{(480 - 250)50}{250 \cdot 560} = 0,0821$, по черт. 4.3

находим $V = 0,88$.

5. $z_s = 0,88 \cdot 560 = 492,8 \text{ мм} = 49,28 \text{ см}$.

6. $y = 294,8 \cdot 0,9 = 265,3 \text{ мм}$.

7. $y = 265,3 \text{ мм} > 2a = 2 \cdot 40 = 80 \text{ мм}$.

9. $y = 265,3 \text{ мм} < 0,5h = 0,5 \cdot 600 = 300 \text{ мм}$.

$$11. A_{bt} = 250 \cdot 265.3 = 66330 \text{ мм}^2.$$

$$12. l_s = 0.5 \frac{66330}{565} 12 = 704 \text{ мм}.$$

$$13. l_s = 704 \text{ мм} > 100 \text{ мм}.$$

$$15. l_s = 704 \text{ мм} > 400 \text{ мм}.$$

$$16. l_s = 400 \text{ мм}.$$

$$17. s_s = \frac{8530}{49.28 \cdot 5.65} = 30,63 \text{ кН / см}^2.$$

$$18. y_s = 1 - 0.8 \frac{3596.8}{8530} = 0.663.$$

19. $j_1 = 1.4$; $j_2 = 0.5$ - для арматуры класса А400; $j_3 = 1$ - для изгибаемых элементов.

$$20. a_{crc1} = 1,4 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,663 \frac{30,63}{200000} 400 = 0,028 \text{ см} = 0,28 \text{ мм}.$$

21. $[a] = 0,3 \text{ мм}$ - из условия сохранности арматуры при продолжительном раскрытии. $a_{crc} = a_{crc,1} = 0,28 \text{ мм} < [a] = 0,3 \text{ мм}$ - ширина раскрытия трещин ниже допустимой.

22. Расчет по деформациям необходимо производить с учетом трещин в растянутой зоне.

Пример заполнения контрольного талона проверки решения задачи:

Фамилия студента: Иванов группа: 03-401

Преподаватель: Седов

Вариант задания: 1

Контролируемый параметр	$m_s a_s$	z	s_s , МПа	A_{bt} , мм ²	l_s , мм	y_s	a_{crc} , мм
Значение	0,081	0,88	30,63	66330	400	0,663	0,28

24. Конец

Индивидуальные задания для расчета по раскрытию трещин.

№	b, мм	h, мм	a, мм	b'f, мм	h'f, мм	Класс бетона	Класс арма- туры	A _s , мм ²	A''s мм ²	M _n , кН*М
1	250	600	35	430	60	B25	A-300	226	226	135,0
2	200	500	20	-	-	B20	A-400	462	308	128,0
3	150	300	25	450	60	B35	A-300	308	-	56,4
4	180	400	30	-	-	B15	A-400	452	-	101,7
5	200	500	20	430	50	B25	A-300	616	-	89,0
6	180	400	25	-	-	B20	A-400	226	226	79,1
7	150	300	35	420	60	B35	A-300	308	226	48,8
8	150	300	20	-	-	B15	A-400	452	226	54,2
9	250	600	25	460	60	B25	A-300	616	308	152,5
10	200	500	30	-	-	B20	A-400	509	-	86,4
11	200	500	20	440	60	B35	A-300	308	452	133,9
12	180	400	25	-	-	B15	A-400	452	226	82,4
13	250	600	35	400	60	B25	A-300	763	-	160,6
14	150	300	20	-	-	B20	A-400	226	226	58,8
15	180	400	25	480	50	B35	A-300	308	-	83,5
16	250	600	30	-	-	B15	A-400	452	462	132,8
17	180	400	20	470	50	B25	A-300	616	308	82,0
18	200	500	25	-	-	B20	A-400	226	-	136,0
19	150	300	35	490	50	B35	A-300	308	308	50,5
20	250	600	20	-	-	B15	A-400	452	-	195,0
21	150	300	25	450	60	B25	A-300	402	-	45,7
22	180	400	30	-	-	B20	A-400	308	226	101,7
23	200	500	20	440	50	B35	A-300	452	-	85,5

Примечание.

- 1. Определять ширину раскрытия трещин от непродолжительного действия всех нагрузок.**

6. Расчет железобетонных элементов по деформациям

Цель – обеспечить требования по эксплуатационной пригодности железобетонного элемента по деформациям.

Задача – вычислить прогиб и сравнить с предельно допустимым значением $f \leq f_{ult}$.

Для решения задач предварительно необходимо изучить материалы п. 4.17 – 4.26 Пособия к СНиП 52-01-2003 и лекции № _____ по курсу «Железобетонные и каменные конструкции».

Таблица 6.1

Контрольные вопросы.

1. С какой целью выполняется определение прогибов конструкций?	а) соблюдение условия $f \leq f_{ult}$. б) соблюдение условия $f < f_{ult}$. в) соблюдение условия $f < 0$.
2. Как определяется кривизна элемента на участке без трещин в растянутой зоне?	а) $\left(\frac{1}{r}\right)_i = \frac{M}{E_{b1} I_{red}}$. б) $\left(\frac{1}{r}\right)_i = \frac{M}{E_b I_{red}}$. в) $\left(\frac{1}{r}\right)_i = \frac{M}{E_{b,red} I_{red}}$.
3. Как определяется кривизна элемента на участке с трещинами в растянутой зоне?	а) $\left(\frac{1}{r}\right)_i = \frac{M}{E_{b1} I_{red}}$. б) $\left(\frac{1}{r}\right)_i = \frac{M}{E_b I_{red}}$. в) $\left(\frac{1}{r}\right)_i = \frac{M}{E_{b,red} I_{red}}$.
4. От каких нагрузок вычисляется прогиб элемента?	а) от нормативных нагрузок. б) от расчетных нагрузок. в) от нормативных и расчетных нагрузок.
5. От чего зависит коэффициент S в формуле $f = Sl^2 \left(\frac{1}{r}\right)_{\max}$?	а) от вида нагрузки и расчетной схемы элемента. б) от вида армирования. в) от условий эксплуатации.

<p>6. Как определить полную кривизну изгибаемого элемента не имеющего трещин в растянутой зоне?</p>	<p>а) $\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2 + \left(\frac{1}{r}\right)_3$.</p> <p>б) $\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2$.</p> <p>в) $\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2$.</p>
<p>7. Как определить полную кривизну изгибаемого элемента с трещинами в растянутой зоне?</p>	<p>а) $\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2 + \left(\frac{1}{r}\right)_3$.</p> <p>б) $\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2$.</p> <p>в) $\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2$.</p>

В тексте использованы ссылки на пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003).

Соответствие проектируемого элемента требованиям по пригодности к эксплуатации проверяется условием $f \leq f_{ult}$, где f - прогиб железобетонного элемента от действия внешней нагрузки, f_{ult} - значение предельного прогиба железобетонного элемента.

Для изгибаемых элементов постоянного сечения, имеющих трещины на каждом участке, в пределах которого изгибающий момент не меняет знак, допускается вычислять кривизну для наиболее напряженного сечения и принимать для остальных сечений такого участка кривизны изменяющимися пропорционально значениям изгибающего момента. В этом случае для свободно опертых и консольных элементов максимальный прогиб определяют по формуле

$$f = Sl^2 \left(\frac{1}{r}\right)_{\max}, \text{ где } \left(\frac{1}{r}\right)_{\max} - \text{ полная кривизна в сечении с наибольшим}$$

изгибающим моментом, определяемая на участке без трещин в растянутой зоне по п. 4.23, на участке с трещинами в растянутой зоне по п. 4.24;

S - коэффициент, принимаемый по табл. 4.3.

Для изгибаемых элементов с защемленными опорами прогиб в середине пролета может определяться по формуле:

$$f = \left\{ \left[\left(\frac{1}{r} \right)_{\max} S - 0.5 \left[\left(\frac{1}{r} \right)_{\text{sup},l} + \left(\frac{1}{r} \right)_{\text{sup},r} \right] * \left(\frac{1}{8} - S \right) \right] \right\} l^2, \quad \text{где} \quad \left(\frac{1}{r} \right)_{\max}$$

$\left(\frac{1}{r} \right)_{\text{sup},l}$, $\left(\frac{1}{r} \right)_{\text{sup},r}$ - кривизна соответственно в середине пролета, на левой и правой опорах;

S - коэффициент, принимаемый по табл. 4.3 как для свободно опертой балки.

Полную кривизну изгибаемых элементов для участков с трещинами в растянутой зоне определяют по формуле: $\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r} \right)_1 - \left(\frac{1}{r} \right)_2 + \left(\frac{1}{r} \right)_3$, где

$\left(\frac{1}{r} \right)_1$ - кривизна от непродолжительного действия всех нагрузок, на

которые производят расчет по деформациям; $\left(\frac{1}{r} \right)_2$ - кривизна от

непродолжительного действия постоянных и длительных нагрузок; $\left(\frac{1}{r} \right)_3$ -

кривизна от продолжительного действия постоянных и длительных нагрузок.

При определении прогибов железобетонного элемента на участке без трещин в растянутой зоне в п. 13 блок-схемы 6.1 кривизну необходимо определять по формуле:

$$\left(\frac{1}{r} \right)_i = \frac{M_n}{E_{b1} I_{red}}$$

Здесь E_{b1} - модуль деформации сжатого бетона, принимаемый равным:

при непродолжительном действии нагрузки $E_{b1} = 0.85 E_b$;

при продолжительном действии нагрузки $E_{b1} = \frac{E_b}{1 + j_{b,crc}}$, где $j_{b,crc}$ -

коэффициент ползучести бетона, принимаемый в зависимости от относительной влажности воздуха и класса бетона по табл. 4.4.

Полную кривизну изгибаемых элементов для участков без трещин в растянутой зоне в п. 14 блок-схемы 6.1 определяют по формуле:

$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r} \right)_1 + \left(\frac{1}{r} \right)_2$, где $\left(\frac{1}{r} \right)_1$ и $\left(\frac{1}{r} \right)_2$ - кривизны соответственно от

непродолжительного действия кратковременных нагрузок и от продолжительного действия постоянных и длительных нагрузок.

Кроме того, для элементов прямоугольного, таврового и двутаврового сечений, эксплуатируемых при влажности выше 40%, кривизну на участках с трещинами в растянутой зоне (блок-схема 6.1 в п. 13) допускается определять по формуле:

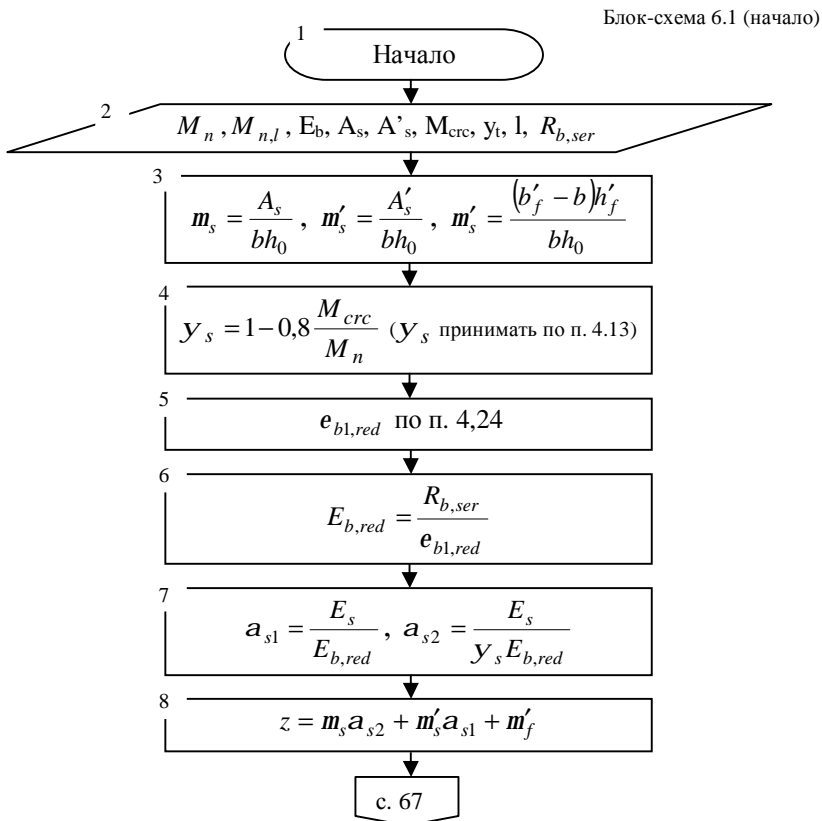
$$\left(\frac{1}{r}\right)_i = \frac{M - j_2 b h^2 R_{bt,ser}}{j_1 E_s A_s h_0^2};$$

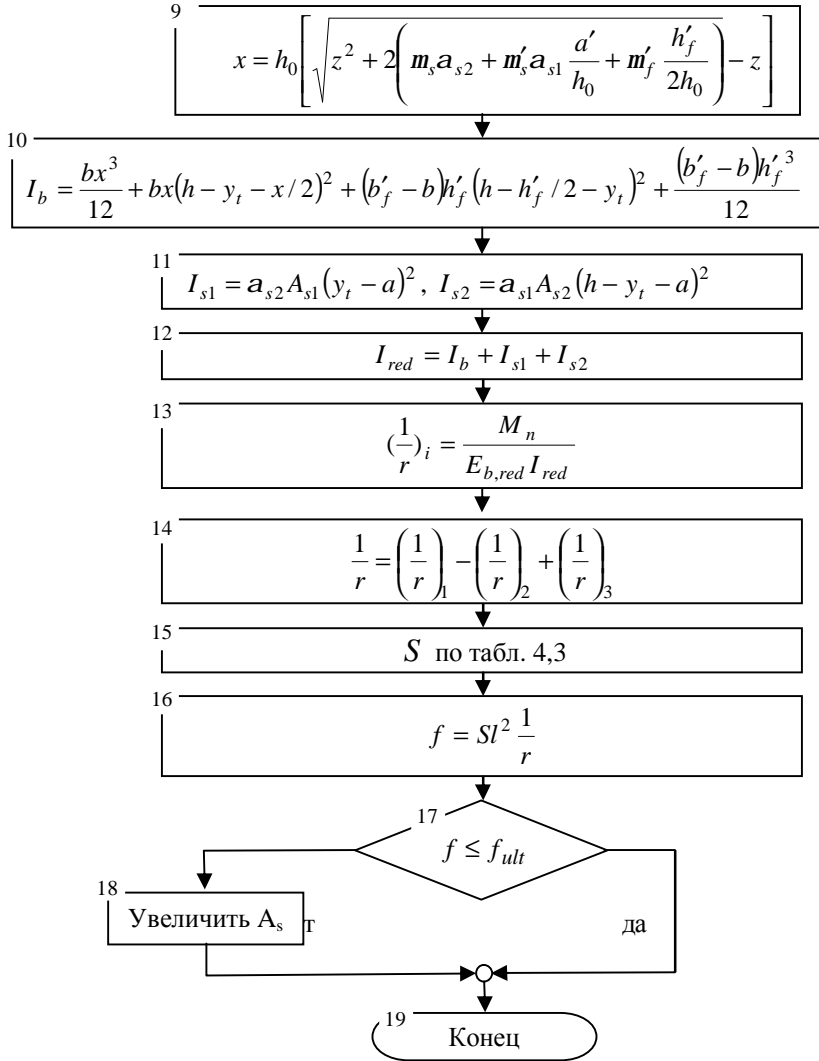
Здесь j_1 - см. табл. 4.5;

j_2 - см. табл. 4.6;

При этом вычисления по п. 4 – 12 блок-схемы 6.1 производить не нужно.

- **Последовательность расчета по деформациям элемента на участке с трещинами в растянутой зоне представлена в блок-схеме 6.1:**





Пример расчета 1.

Определить прогиб железобетонного элемента с трещинами в растянутой зоне от непродолжительного действия всех нагрузок. Исходные данные по примеру расчета 1 практического занятия №5. Расчет ведем по блок-схеме 6.1.

1. Начало.

2. Элемент таврового сечения с размерами $b=250$ мм, $h=600$ мм, $b'_f=480$ мм, $h'_f=50$ мм, $a=a'=40$ мм, $h_0=600-40=560$ мм. Пролет элемента $l=6$ м. Влажность воздуха 35%.

Прочностные характеристики бетона. Для бетона класса В20

$$R_{bn} = R_{b,ser} = 15 \text{ МПа}, R_{bt,ser} = 1.35 \text{ МПа}, E_b = 27500 \text{ МПа}$$

$$S_{b1} = 0.6R_{bn} = 0.6 \cdot 15 = 9 \text{ МПа}.$$

Для арматуры класса А400 $E_s = 200000 \text{ МПа}$, $A_s = 565 \text{ мм}^2 = 5.65 \text{ см}^2$, $d_s = 12 \text{ мм}$, $A'_s = 251 \text{ мм}^2$.

Изгибающий момент от непродолжительного действия всех нормативных нагрузок $M_n = 100.35 \text{ кНм} = 10035 \text{ кНсм}$.

$y_t = 280 \text{ мм}$, $M_{crc} = 3693.22 \text{ кН} \cdot \text{см}$ - из примера расчета 1 практического занятия №5.

$$3. m_s = \frac{565}{250 \cdot 560} = 0.004, m'_s = \frac{251}{250 \cdot 560} = 0.0018,$$

$$m'_s = \frac{(480-250)50}{250 \cdot 560} = 0.082.$$

$$4. y_s = 1 - 0.8 \frac{3693.22}{10035} = 0.71.$$

5. $e_{b1,red} = 0.0015$ для непродолжительного действия нагрузки.

$$6. E_{b,red} = \frac{15}{0.0015} = 10000 \text{ МПа}.$$

$$7. a_{s1} = \frac{200000}{10000} = 20, a_{s2} = \frac{200000}{0.71 \cdot 10000} = 28.17.$$

$$8. z = 0.044 \cdot 28.17 + 0.0018 \cdot 20 + 0.082 = 1.358.$$

9.

$$x = 560 \left[\sqrt{1.358^2 + 2 \left(0.044 \cdot 28.17 + 0.018 \cdot 20 \frac{40}{560} + 0.082 \frac{50}{2 \cdot 560} \right)} - 1.358 \right] = 411 \text{ мм}$$

$$10. I_b = \frac{250 \cdot 411^3}{12} + 250 \cdot 411(600 - 280 - 411/2)^2 + (480 - 250)50(600 - 50/2 - 280)^2 + \frac{(480 - 250)50^3}{12} = 3796647583 \text{ мм}^4$$

$$11. I_{s1} = 28.17 \cdot 565(280 - 40)^2 = 916764480 \text{ мм}^4,$$

$$I_{s2} = 20 \cdot 251(600 - 280 - 40)^2 = 650592000 \text{ мм}^4.$$

$$12. I_{red} = 3796647583 + 916764480 + 650592000 = 13614904063 \text{ мм}^4.$$

$$13. \left(\frac{1}{r}\right)_1 = \frac{10035}{10000 \cdot 13614904063} = 7,37 \cdot 10^{-7} \frac{1}{\text{мм}}.$$

$$14. \left(\frac{1}{r}\right)_{\max} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 = 7,37 \cdot 10^{-7} \frac{1}{\text{мм}}.$$

$$15. S = \frac{5}{48}.$$

$$16. f = \frac{5}{48} 6000^2 \cdot 7,37 \cdot 10^{-7} = 2,76 \text{ мм}.$$

$$17. f = 2,76 \text{ мм} < f_{ult} = \frac{1}{200} l = 30 \text{ мм}.$$

Пример заполнения контрольного талона проверки решения задачи:

Фамилия студента: Иванов группа: 03-401 Преподаватель: Седов

Вариант задания: 1

Контролируемый параметр	$R_{b,ser}$, МПа	m_s	$\left(\frac{1}{r}\right)_1$ 1/мм	$\left(\frac{1}{r}\right)_2$ 1/мм	$\left(\frac{1}{r}\right)_3$ 1/мм	f , мм	f_{ult} , мм
Значение	15	0,004	$7,37 \cdot 10^{-7}$	0	0	2,76	30

19. Конец.

Пример расчета 2.

Определить прогиб железобетонного элемента с трещинами в растянутой зоне. Расчет ведем по блок-схеме б.1.

1. Начало.

2. Исходные данные: элемент прямоугольного профиля с размерами $b=250$ мм, $h=400$ мм, $a=40$ мм, $a'=30$ мм, $h_0 = 400 - 40 = 560$ мм. Пролет элемента $l=7,2$ м. Влажность воздуха 65%.

Прочностные характеристики бетона. Для бетона класса В25

$$R_{bn} = R_{b,ser} = 18,5 \text{ МПа}, R_{bt,ser} = 1,55 \text{ МПа} = 0,155 \text{ кН} / \text{см}^2,$$

$$E_b = 30000 \text{ МПа}.$$

$$\text{Для арматуры класса А400 } E_s = 200000 \text{ МПа}, A_s = 1473 \text{ мм}^2 (3 \text{ } \emptyset 25),$$

$$A'_s = 236 \text{ мм}^2 (3 \text{ } \emptyset 10).$$

Изгибающий момент от нормативных нагрузок $M_n = 200 \text{ кНм}$, в т.ч. от длительно действующих $M_{n,l} = 170 \text{ кНм}$.

$$3. m_s = \frac{1473}{250 \cdot 360} = 0.016 .$$

Дальше расчет ведем по п. 11 блок-схемы 6.1.

13. а) Определяем кривизну от непродолжительного действия всех нагрузок:

$$m_s a_{s1} = 0.016 \cdot 16,22 = 0,26, \quad a_{s1} = \frac{300}{R_{b,ser}} = \frac{300}{18,5} = 16,22, \quad \text{коэффициент}$$

$$j_1 = 0,408, \quad \text{коэффициент } j_2 = 0,17 .$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_1 = \frac{200 \cdot 10^6 - 0,17 \cdot 250 \cdot 400^2 \cdot 1.55}{0,408 \cdot 200000 \cdot 1473 \cdot 360^2} = 1,22 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{мм}} .$$

б) Определяем кривизну от непродолжительного действия постоянных и длительных нагрузок:

$$m_s a_{s1} = 0.016 \cdot 16,22 = 0,26, \quad a_{s1} = \frac{300}{R_{b,ser}} = \frac{300}{18,5} = 16,22, \quad \text{коэффициент}$$

$$j_1 = 0,408, \quad \text{коэффициент } j_2 = 0,17 .$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_2 = \frac{170 \cdot 10^6 - 0,17 \cdot 250 \cdot 400^2 \cdot 1.55}{0,408 \cdot 200000 \cdot 1473 \cdot 360^2} = 1,02 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{мм}} .$$

в) Определяем кривизну от продолжительного действия постоянных и длительных нагрузок:

$$m_s a_{s1} = 0.016 \cdot 30,28 = 0,485, \quad a_{s1} = \frac{560}{R_{b,ser}} = \frac{560}{18,5} = 30,28, \quad \text{коэффициент}$$

$$j_1 = 0,306 .$$

$$m_s a_{s1} = 0.016 \cdot 16,22 = 0,26, \quad a_{s1} = \frac{300}{R_{b,ser}} = \frac{300}{18,5} = 16,22, \quad \text{коэффициент}$$

$$j_2 = 0,13 .$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_3 = \frac{170 \cdot 10^6 - 0,13 \cdot 250 \cdot 400^2 \cdot 1.55}{0,306 \cdot 200000 \cdot 1473 \cdot 360^2} = 1,39 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{мм}} .$$

14.

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{\max} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2 + \left(\frac{1}{r}\right)_3 = (1.22 - 1.02 + 1.39)10^{-6} = 1.59 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{мм}} .$$

$$15. S = \frac{5}{48} .$$

$$16. f = \frac{5}{48} 7200^2 \cdot 1.59 \cdot 10^{-6} = 8.59 \text{ мм} .$$

$$17. f = 8.59 \text{ мм} < f_{ult} = \frac{1}{210} l = 34,29 \text{ мм} .$$

Пример заполнения контрольного талона проверки решения задачи:

Фамилия студента: Иванов группа: 03-401 Преподаватель: Седов

Вариант задания: 1

Контролируемый параметр	$R_{b,ser}$ МПа	m_s	$\left(\frac{1}{r}\right)_1$ 1/мм	$\left(\frac{1}{r}\right)_2$ 1/мм	$\left(\frac{1}{r}\right)_3$ 1/мм	f , мм	f_{ult} , мм
Значение	18,5	0,016	$1,22 \cdot 10^{-6}$	$1,02 \cdot 10^{-6}$	$1,39 \cdot 10^{-6}$	8,59	34,29

19. Конец

Индивидуальные задания принимать по табл. 5.2.

7. Расчет внецентренно сжатых элементов на прочность по сечениям, нормальным к продольной оси

Цель – обеспечить несущую способность железобетонного элемента.

Задачи - подобрать необходимую площадь сечения продольной сжатой и растянутой арматуры в железобетонном элементе, сконструировать элемент.

Для решения задач предварительно необходимо изучить материалы п. 3.49 – 3.60 Пособия к СНиП 52-01-2003 и лекции № _____ по курсу «Железобетонные и каменные конструкции».

Таблица 7.1

Контрольные вопросы.

1. Какие условия статики используют при расчете на внецентренное сжатие сечений, нормальных к продольной оси?	<p>а) $\sum M = 0$, $\sum N = 0$.</p> <p>б) $\sum M = 0$.</p> <p>в) $\sum N = 0$.</p>
2. Назовите величину случайного эксцентриситета.	<p>а) 10мм.</p> <p>б) 1/20 высоты сечения.</p> <p>в) 15мм.</p>
3. Как учитывается влияние прогиба элемента при расчете?	<p>а) Умножением продольной силы на коэффициенты h_v и h_h .</p> <p>б) Увеличением эксцентриситета на 1/30 высоты сечения.</p> <p>в) Умножением моментов на коэффициенты h_v и h_h .</p>
4. Назовите условия определения расчетной длины внецентренно сжатого элемента.	<p>а) в зависимости от условий опирания.</p> <p>б) в зависимости от гибкости элемента.</p> <p>в) в зависимости от условий опирания и длины элемента.</p>
5. Выберите условие прочности элементов прямоугольных сечений с симметричной арматурой.	<p>а)</p> $M \geq R_b b x (h_0 - 0.5x) + (R_{sc} A'_s - N / 2)(h_0 - a')$ <p>б)</p> $M \leq R_b b x (h_0 - 0.5x) + (R_{sc} A'_s - N / 2)(h_0 - a')$ <p>в)</p> $M \leq R_b b x (h_0 - 0.5x) - (R_{sc} A'_s - N / 2)(h_0 - a')$

6. Выберите условие прочности элементов прямоугольных сечений с несимметричной арматурой.	а) $M \geq R_b b x (h_0 - 0.5x) + (R_{sc} A'_s - N / 2)(h_0 - a')$ б) $M \leq R_b b x (h_0 - 0.5x) + (R_{sc} A'_s - N / 2)(h_0 - a')$ в) $M \leq R_b b x (h_0 - 0.5x) - (R_{sc} A'_s - N / 2)(h_0 - a')$
7. Выберите уравнение, по которому определяется количество симметричной арматуры во внецентренно сжатых элементах.	а) при $a_n \leq x_R$ $A_s = A'_s = \frac{R_b b h_0}{R_s} \cdot \frac{a_{m1} - a_n (1 - a_n / 2)}{1 - d}$ б) при $a_n > x_R$ $A_s = A'_s = \frac{R_b b h_0}{R_s} \cdot \frac{a_{m1} - x(1 - x / 2)}{1 - d}$ в) при $a_n \leq x_R$ $A_s = A'_s = \frac{R_b b h_0}{R_s} \cdot \frac{a_{m1} - x(1 - a_n / 2)}{1 - d}$
8. Назовите значение максимального коэффициента армирования для внецентренно сжатых элементов?	а) 1%. б) 2%. в) 3%.

В тексте использованы ссылки на пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003).

В соответствии с п. 3.49 при расчете железобетонных элементов на действие сжимающей продольной силы следует учитывать случайный эксцентриситет e_a принимаемый не менее максимального из трех значений:

- $\frac{1}{600} H$;
- $\frac{1}{30} h$;
- 10 мм.

Проверку прочности на внецентренное сжатие прямоугольных сечений с симметричной арматурой производят из условия:

$$M \leq R_b b x (h_0 - 0.5x) + (R_{sc} A'_s - N / 2)(h_0 - a')$$

где M - момент относительно центра тяжести сечения, определяемый с учетом прогиба элемента;

x - высота сжатой зоны сечения элемента.

Требуемое количество симметричной арматуры определяется следующим образом в зависимости от относительной величины

$$\text{продольной силы } a_n = \frac{N}{R_b b h_0} :$$

$$\text{а) при } a_n \leq x_R \quad A_s = A'_s = \frac{R_b b h_0}{R_s} \cdot \frac{a_{m1} - a_n(1 - a_n/2)}{1 - d},$$

$$\text{б) при } a_n > x_R \quad A_s = A'_s = \frac{R_b b h_0}{R_s} \cdot \frac{a_{m1} - x(1 - x/2)}{1 - d},$$

где x - относительная высота сжатой зоны.

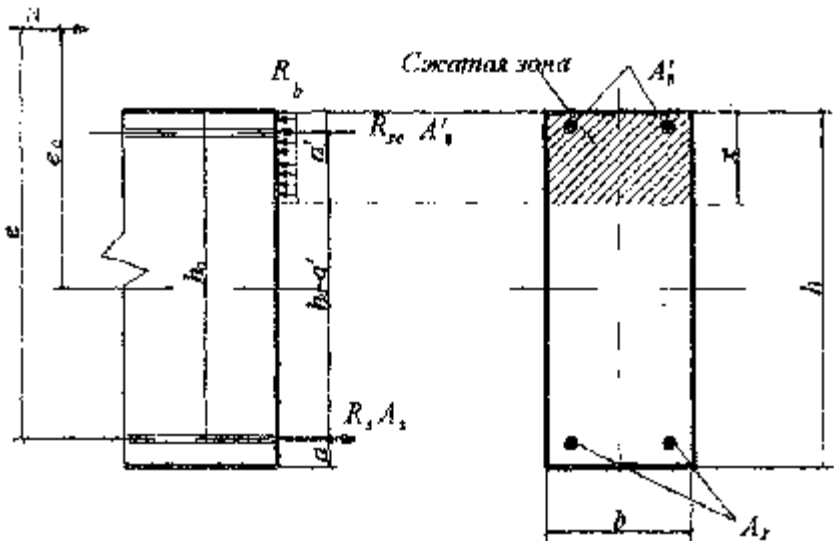


Рис. 7.1. Схема усилий в поперечном сечении внецентренно сжатого элемента.

В соответствии с п. 3.58 расчет сжатых элементов из бетона классов В15-В35 на действие продольной силы, приложенной с эксцентриситетом, равным случайному эксцентриситету $e_0 = h/30$, при $l_0 < 20h$ допускается производить из условия 3.97:

$$N \leq \varphi(R_b A + R_{sc} A_{s, tot}),$$

где φ - коэффициент, определяемый по формуле:

$$j = j_b + 2(j_{sb} - j_b)a_s \leq j_{sb}.$$

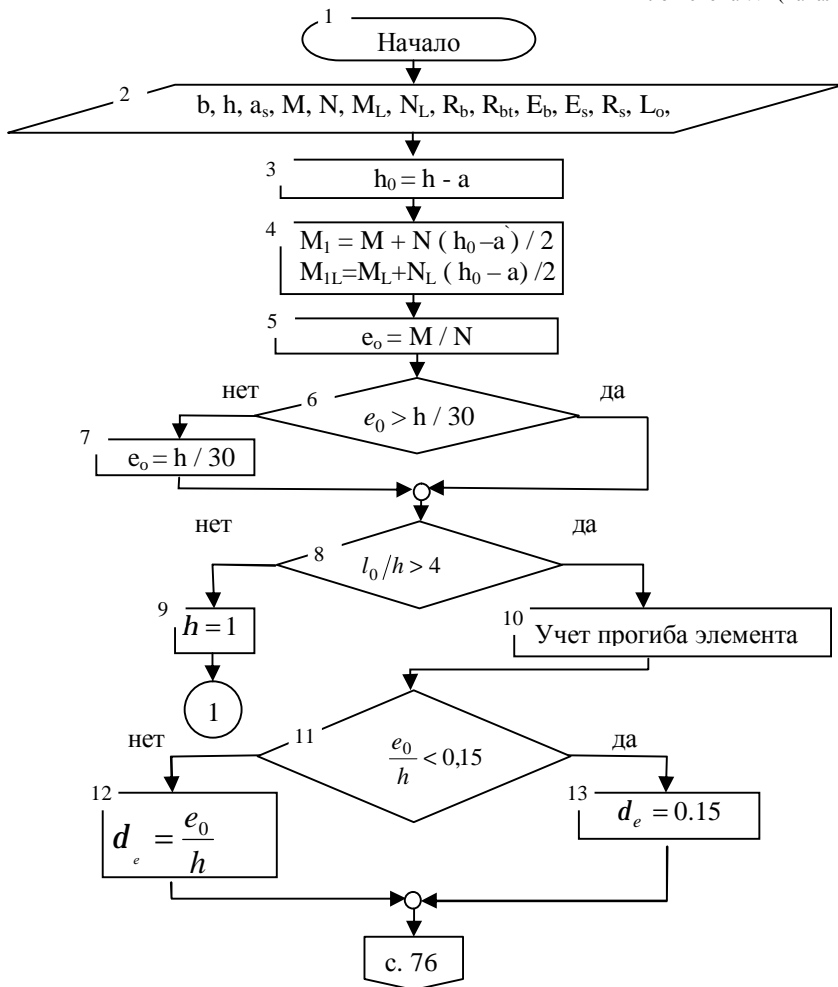
Здесь φ_b и φ_{sb} - коэффициенты, принимаемые по табл. 3.5 и 3.6 или прил. 3.

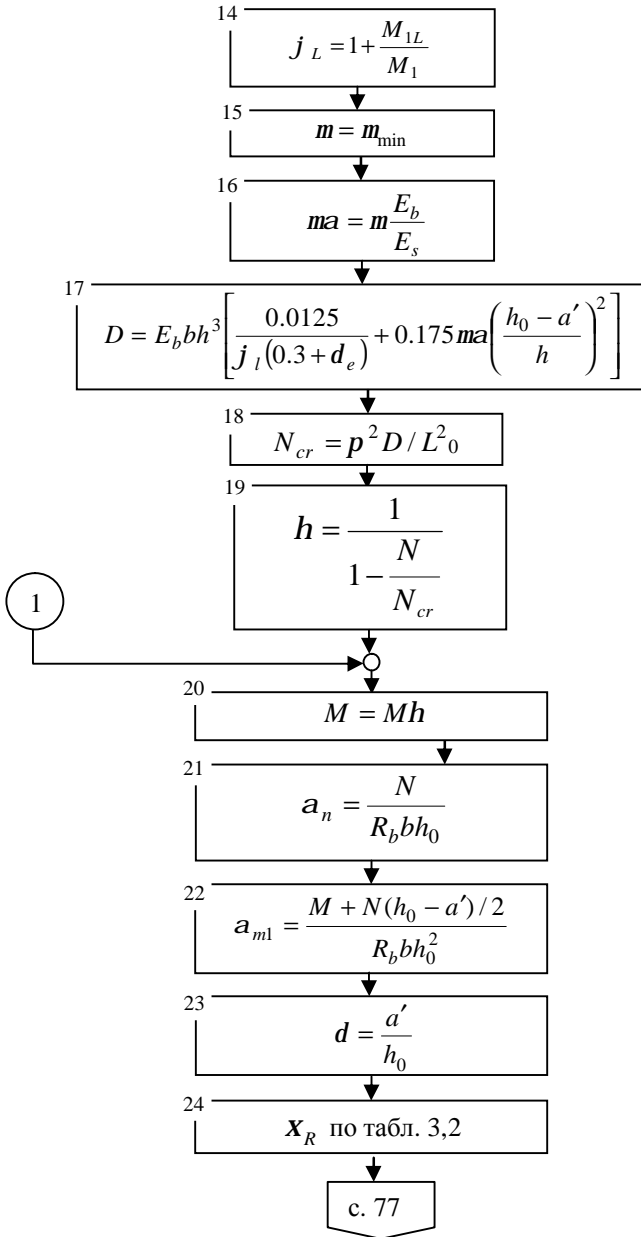
При подборе арматуры в первом приближении принимаем коэффициент $\varphi=0.8$. Далее с учетом найденной площади и конструктивных требований назначается армирование внецентренно сжатого элемента, коэффициенты φ_b и φ_{sb} корректируются, и производится проверка прочности сечения с принятым армированием. Вычисления по п. 3, 4, 6 – 27 блок-схемы 7.1 выполнять не нужно.

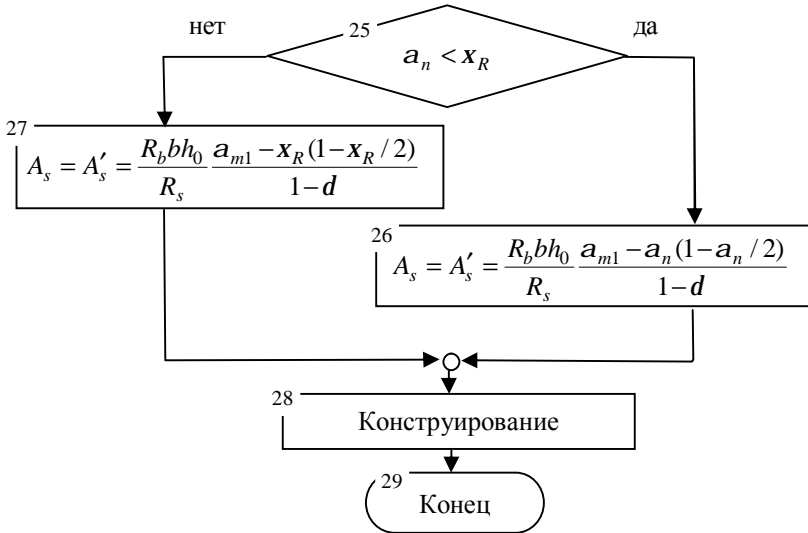
Сечения внецентренно сжатых элементов могут проектироваться как с симметричной, так и с несимметричной арматурой.

- Последовательность расчета внецентренно сжатых элементов с симметричной арматурой представлена в блок-схеме 7.1.

Блок-схема 7.1 (начало)







Пример расчета 1.

Подобрать симметричную арматуру во внецентренно сжатом элементе. Расчет ведем по блок-схеме 7.1.

1. Начало.

2. Сечение элемента по заданию $b = h = 30\text{см}$, $a_s = a'_s = 4\text{см}$, $l = 3\text{м}$.

Опирание жесткое на двух опорах.

Расчетные усилия: $M = 23,76\text{кНм}$ и $N = 1834,5\text{кН}$, от длительно действующей нагрузки $M_I = 16,88\text{кНм}$, $N_I = 1663,14\text{кН}$.

Характеристики бетона и арматуры. Бетон тяжелый, класса В20, $R_b = 11,5\text{МПа}$, $R_{bt} = 0,9\text{МПа}$, $E_b = 27500\text{МПа}$. Продольная рабочая арматура класса А-400, $R_s = 355\text{МПа}$. Расчетную длину элемента принимаем $l_0 = 0,5l = 1,5\text{м}$.

3. $h_0 = h - a_s = 26\text{см}$.

4. $e_0 = \frac{23,76 \cdot 100}{1834,5} = 1,3\text{см}$;

5. $M_I = 1834,5(26 - 4)/2 + 23,76 = 225,56\text{кНсм}$,

$M_{II} = 1663,14(26 - 4)/2 + 16,88 = 199,83\text{кНсм}$.

6. $e_0 = 1,3\text{см} > \frac{30}{30} = 1\text{см}$.

8. $l_0/h = 1,5/0,3 = 5 > 4$ - учитываем прогиб колонны.

$$11. d_e = \frac{1.3}{30} = 0.04 < 0.15 .$$

$$13. d_e = 0.15 .$$

$$14. j_l = 1 + \frac{199.83}{225.56} = 1.89 .$$

15. В первом приближении принимаем $m = 0,02$ согласно п. 5.12.

$$16. ma = 0,02 \frac{27500}{200000} = 0,27 .$$

$$17. D = 27500 \cdot 10^3 \cdot 0,3^4 \left[\frac{0.0125}{1,89(0.3+0,15)} + 0.175 \cdot 0,27 \left(\frac{0,26-0,04}{0,3} \right)^2 \right] =$$
$$= 7,52 \cdot 10^3 \text{ кНМ}^2 .$$

$$18. N_{cr} = \frac{3.14^2 \cdot 7.52 \cdot 10^3}{1,5^2} = 32952,97 \text{ кН} .$$

$$19. h = \frac{1}{1 - \frac{1834,5}{32952,97}} = 1.059 .$$

$$20. M = Mh = 23,76 \cdot 1,059 = 25,16 \text{ кНМ} .$$

$$21. a_n = \frac{1834,5}{11,5 \cdot 0,3 \cdot 0,26 \cdot 1000} = 2,05 .$$

$$22. a_{m1} = \frac{25,16 + 1834,5(0,26 - 0,04) / 2}{11,5 \cdot 0,3 \cdot 0,26^2 \cdot 1000} = 0,98 .$$

$$23. d = \frac{0,04}{0,26} = 0,15 .$$

$$24. x_R = 0.531$$

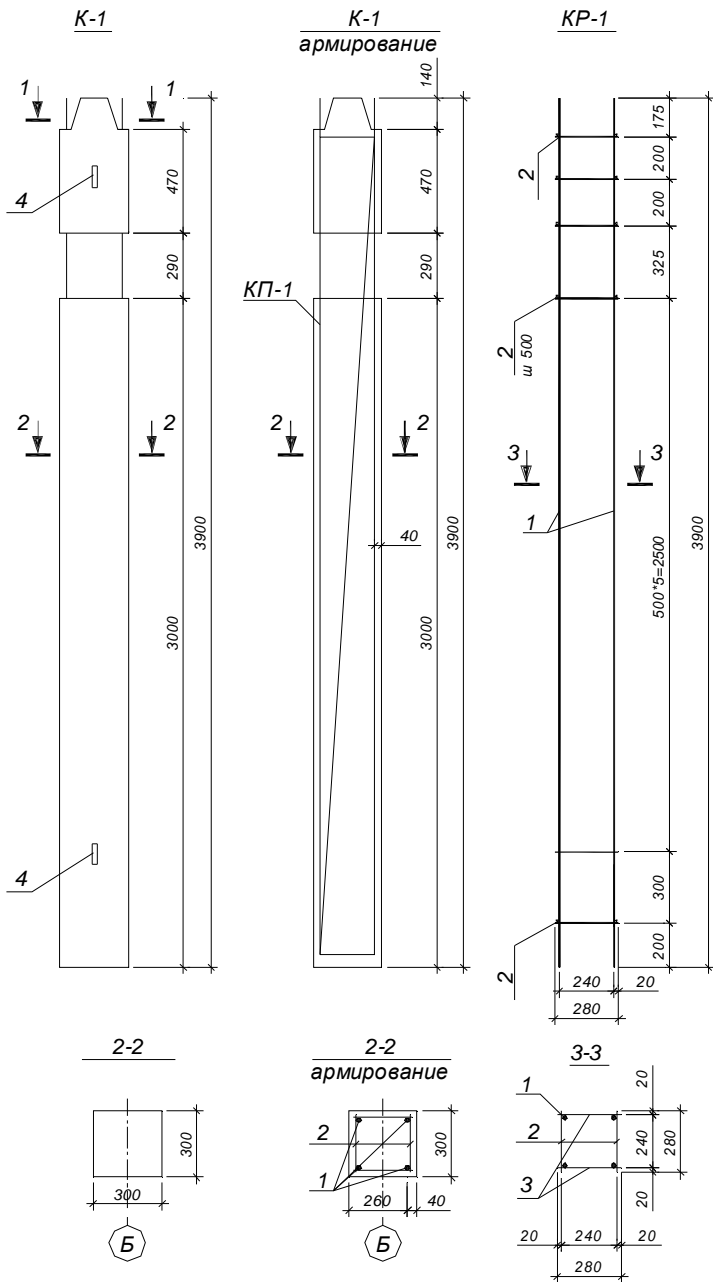


Рис. 7.2. Конструирование элемента (к примеру расчета 1 и 2)

Табл. 7.2

Спецификация колонны К-1

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание
<i>Сборные единицы</i>				
КР-1		Каркас КР-1	2	63,43
<i>Детали</i>				
3		Ø8 А240 l=280	20	0,111
4		Ø12 А240 l=1185	2	1,052
<i>Материалы</i>				
		Бетон В20		0,325 м3

Табл. 7.3

Спецификация арматурных изделий

Марка изделия	Поз.	Наименование	Кол.	Масса 1дет., кг	Масса изд., кг
КР-1	1	Ø 36 А400, l=3900	2	31,16	63,43
	2	Ø 8 А240, l=280	10	0,111	

Табл. 7.4

Ведомость деталей

Поз.	Эскиз
4	

Табл. 7.5

Ведомость расхода стали, кг

Марка элемента	Изделия арматурные						Всего
	Арматура класса						
	А240			А400			
	ГОСТ 5781-82*			ГОСТ 5781-82*			
	Ø8	Ø12	Итого	Ø36		Итого	
К-1	4,44	2,104	6,544	124,6		124,6	131,18

$$25. a_n = 2,05 > x_R = 0.531 .$$

$$26. A_s = A'_s = \frac{11.5 \cdot 0.3 \cdot 0.26}{355} \frac{0.98 - 0.531(1 - 0.531/2)}{1 - 0.15} = 1704 \text{ мм}^2 .$$

$$m = \frac{2 \cdot 1704}{0,3 \cdot 0,26 \cdot 10^6} = 0,038 \quad - \text{полученное армирование превышает}$$

армирование принятое при определении D. Повторяем расчет с п. 13 блок-схемы, принимая $m = 0,038$. В результате получаем $A_s \geq 1690 \text{ мм}^2$.

28. Продольную арматуру принимаем 2 \emptyset 36 $A_s = A'_s = 2036 \text{ мм}^2$. Поперечную арматуру в колонне принимаем из условия свариваемости \emptyset 10 класса А240 и устанавливаем с шагом 500 мм, что не более $15d = 15 \cdot 36 = 540 \text{ мм}$.

Пример заполнения контрольного талона проверки решения задачи:

Фамилия студента: Иванов группа: 03-401 Преподаватель: Седов

Вариант задания: 1

Контролируемый параметр	R_b , МПа	l_0 , м	h_0 , мм	h	A_s , мм ²	A'_s , мм ²
Значение	11,5	1,5	260	1,059	2036	2036

29. Конец.

Пример расчета 2.

Подобрать симметричную арматуру в внецентренно сжатом элементе. Расчет ведем по блок-схеме 7.1.

1. Начало

2. Сечение элемента по заданию $b = h = 300 \text{ мм}$, $a_s = 40 \text{ мм}$, $l = 3.3 \text{ м}$.

Опираение шарнирное на двух концах - $l_0 = 3.3 \text{ м}$.

Расчетные усилия: $M = 7,5 \text{ кНм}$ и $N = 1670 \text{ кН}$, от длительно действующей нагрузки $M_l = 4 \text{ кНм}$, $N_l = 1252.5 \text{ кН}$.

Характеристики бетона и арматуры. Бетон тяжелый, класса В30, $R_b = 17 \text{ МПа}$. С учетом коэффициента $g_{b2} = 0.9$, принимаемого по п. 2.8, $R_b = 0,9 \cdot 17 = 15,3 \text{ МПа}$. Продольная рабочая арматура класса А-400, $R_s = 355 \text{ МПа}$.

Расчетную длину элемента принимаем $l_0 = 0.5l = 1.5 \text{ м}$.

3. $h_0 = h - a_s = 300 - 40 = 260 \text{ мм}$.

$$4. e_0 = \frac{7.5 \cdot 1000}{1000} = 7.5 \text{ мм}.$$

$$6. e_0 = 7.5 \text{ мм} < 10 \text{ мм}.$$

$$7. \text{ Согласно п. 3.49 } e_0 = 10 \text{ мм}.$$

8. $l_0/h = 3.3/0.3 = 11 > 4$, $l_0/h = 11 < 20$ - расчет допускается производить из условия 3.97.

Принимая $j = 0.8$, вычисляем требуемую площадь сечения по формуле:

$$A_{s,tot} = \frac{N}{j R_{sc}} - A \frac{R_b}{R_{sc}}, \quad A_{s,tot} = \frac{1670 \cdot 10^3}{0.8 \cdot 355} - 300 \cdot 300 \frac{15.3}{355} = 2001.4 \text{ мм}^2.$$

Принимаем 4 $\emptyset 25$ $A_{s,tot} = 1963 \text{ мм}^2$. Выполним проверку прочности сечения колонны с учетом площади сечения фактически принятой арматуры.

При $N_l/N = 1252.8/1670 = 0.75$, $l_0/h = 11$ находим $j_b = 0.888$, $j_{sb} = 0.903$.

$$a_s = \frac{R_s A_{s,tot}}{R_b A}, \quad a_s = \frac{355 \cdot 1963}{15.3 \cdot 300 \cdot 300} = 0.506,$$

$$j = 0.888 + 2(0.903 - 0.888)0.506 = 0.903 < j_{sb} = 0.903.$$

Тогда фактическая несущая способность колонны будет равна:

$N_u = 0.903(15.3 \cdot 300 \cdot 300 + 355 \cdot 1963) = 1872.7 \cdot 10^3 \text{ Н} = 1872.7 \text{ кН} > N = 1670 \text{ кН}$ - прочность колонны обеспечена.

28. Поперечную арматуру в колонне принимаем из условия свариваемости $\emptyset 8$ класса А240 и устанавливаем с шагом 350 мм, что не более $15d = 15 \cdot 25 = 375 \text{ мм}$.

Пример заполнения контрольного талона проверки решения задачи:

Фамилия студента: Иванов группа: 03-401 Преподаватель: Седов

Вариант задания: 1

Контролируемый параметр	R_b , МПа	l_0 , м	h_0 , мм	h	$A_{s,2}$, мм ²	$A'_{s,2}$, мм ²
Значение	15,3	1,5	260	-	981.5	981.5

29. Конец.

- При расчете сечений с несимметричной арматурой площади сечения сжатой и растянутой арматуры в п. 24 и 25 блок-схемы 7.1, соответствующие минимуму их суммы, определяют по формулам:

$$A'_s = \frac{Ne - a_R R_b b h_0^2}{R_{sc} (h_0 - a')} ; A_s = \frac{x_R R_b b h_0 - N}{R_s} + A'_s .$$

Здесь $e = M/N + (h_0 - a')/2$. При этом вычисления по п. 19 – 25 выполнять не нужно.

Индивидуальные задания для подбора симметричной арматуры во внецентренно сжатом элементе.

Таблица 7.6

Варианты заданий

№	b, мм	h, мм	a _s , мм	L, м	Класс бетона	Класс арматуры	Услов. закрепл.	N, кН	M, кН*м	N _i , кН	M _i , кН*м
1	300	300	20	2.8	B15	A-300	жест.	650	140	620	130
2	300	400	30	3	B30	A-400	шарн.	840	100	800	80
3	250	400	40	3.3	B40	A-500	жест.	780	140	740	120
4	400	400	20	3.6	B10	A-300	шарн.	800	160	740	120
5	450	450	30	4.2	B20	A-400	жест.	900	160	800	150
6	400	350	40	2.7	B25	A-500	шарн.	825	178	800	140
7	400	600	20	3.3	B35	A-300	жест.	960	90	900	80
8	500	500	30	3.9	B15	A-400	шарн.	1000	200	960	170
9	300	500	40	2.7	B15	A-500	жест.	737	120	700	100
10	300	600	20	4.2	B30	A-300	шарн.	650	140	620	130
11	350	450	30	2.8	B40	A-400	жест.	840	100	800	80
12	250	450	40	3	B10	A-500	шарн.	780	140	740	120
13	300	600	20	3.3	B20	A-300	жест.	800	160	740	120
14	300	350	30	3.6	B25	A-400	шарн.	900	160	800	150
15	350	350	40	4.2	B35	A-500	жест.	825	178	800	140
16	300	300	20	2.7	B15	A-300	шарн.	960	90	900	80
17	450	400	30	3.3	B15	A-400	жест.	1000	200	960	170
18	300	450	40	3.9	B15	A-500	шарн.	737	120	700	100
19	450	300	20	2.7	B30	A-300	жест.	650	140	620	130
20	450	500	30	4.2	B40	A-400	шарн.	840	100	800	80
21	450	4500	40	3	B10	A-500	шарн.	780	140	740	120

9. Расчет элементов на продавливание при действии сосредоточенной силы и изгибающего момента

Цель – обеспечить прочность опорного сечения элемента.

Задачи – определить продавливающую силу, сравнить с несущей способностью элемента на продавливание.

Для решения задач предварительно необходимо изучить материалы п. 3.83 – 3.87 Пособия к СНиП 52-01-2003 и лекции № _____ по курсу «Железобетонные и каменные конструкции».

Таблица 9.1

Контрольные вопросы.

1. На действие каких нагрузок производится расчет на продавливание?	а) Сосредоточенной силы и изгибающего момента. б) Сосредоточенной силы. в) Изгибающего момента.
2. Где расположено расчетное поперечное сечение, которое рассматривают при расчете на продавливание?	а) на расстоянии $h_0 / 4$ от его продольной оси. б) на расстоянии $h_0 / 3$ от его продольной оси. в) на расстоянии $h_0 / 2$ от его продольной оси.
3. Назовите условие, по которому производят расчет элементов без поперечной арматуры на продавливание при действии сосредоточенной силы?	а) $F \geq R_{br} u h_0$. б) $F \leq R_{br} u h_0$. в) $F \leq R_{br} h_0^2$.
4. Исходя из какого условия производят расчет элементов с поперечной арматурой на продавливание при действии сосредоточенной силы?	а) $F \leq F_{b,ult} + F_{sw,ult}$. б) $F \leq F_{b,ult} - F_{sw,ult}$. в) $F \geq F_{b,ult} + F_{sw,ult}$.
5. Расчет элементов с поперечной арматурой на продавливание при совместном действии сосредоточенной силы и изгибающего момента производят из условия:	а) $\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M}{M_{b,ult} + M_{sw,ult}} \leq 1.$ б) $\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} - \frac{M}{M_{b,ult} + M_{sw,ult}} \leq 1.$ в) $\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M}{M_{b,ult} + M_{sw,ult}} \geq 1.$

В тексте использованы ссылки на пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003).

При расчете на продавливание рассматривают расчетное поперечное сечение элемента, расположенное вокруг зоны передачи усилий на элемент на расстоянии $h_0/2$ от оси действия сосредоточенной силы или изгибающего момента. При этом расчетный контур поперечного сечения принимают: при расположении площадки передачи нагрузки внутри элемента – замкнутым и расположенным вокруг площадки передачи нагрузки (рис.), при расположении площадки передачи нагрузки у свободного края или угла элемента в виде двух вариантов: замкнутым и расположенным вокруг площадки передачи нагрузки, и незамкнутым (от края элемента), в этом случае принимают наименьшую несущую способность из двух вариантов расположения расчетного контура при расчете на продавливание.

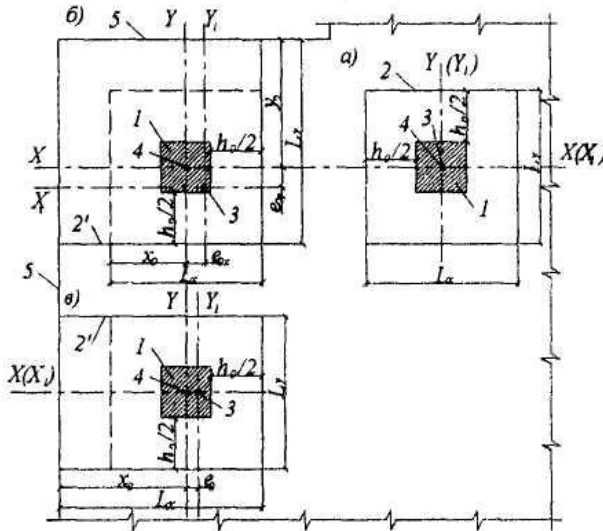


Рис. 9.1 Схемы расположения расчетных контуров продавливания (обозначения см. черт. 3.46 [2])

Расчет элементов с поперечной арматурой на продавливание при совместном действии сосредоточенной силы и изгибающего момента производят из условия:

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M}{M_{b,ult} + M_{sw,ult}} \leq 1,$$

где отношение $\frac{M}{M_{b,ult} + M_{sw,ult}}$ принимается не более $\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}}$.

Здесь $F_{b,ult}$ - предельное усилие, воспринимаемое бетоном при продавливании;

$F_{sw,ult}$ - предельное усилие, воспринимаемое поперечной арматурой при продавливании;

$M_{b,ult}$ - предельный сосредоточенный момент, воспринимаемый бетоном в расчетном поперечном сечении;

$M_{sw,ult}$ - предельный сосредоточенный момент, воспринимаемый поперечной арматурой в расчетном поперечном сечении.

Предельные усилия и моменты при продавливании определять в соответствии с п. 3.86.

При расположении площадки опирания вблизи свободного края элемента помимо указанного расчета необходимо проверить прочность незамкнутого расчетного поперечного сечения на действие внецентренно приложенной силы относительно центра тяжести контура расчетного сечения (см. п. 3.84, 3.85).

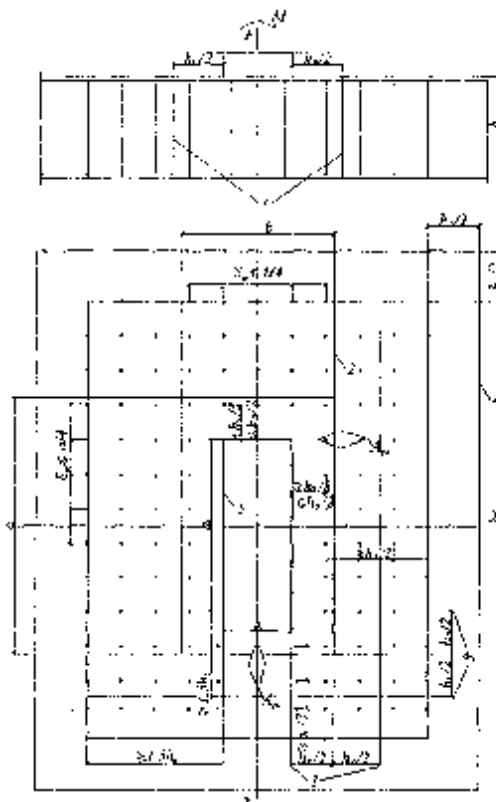
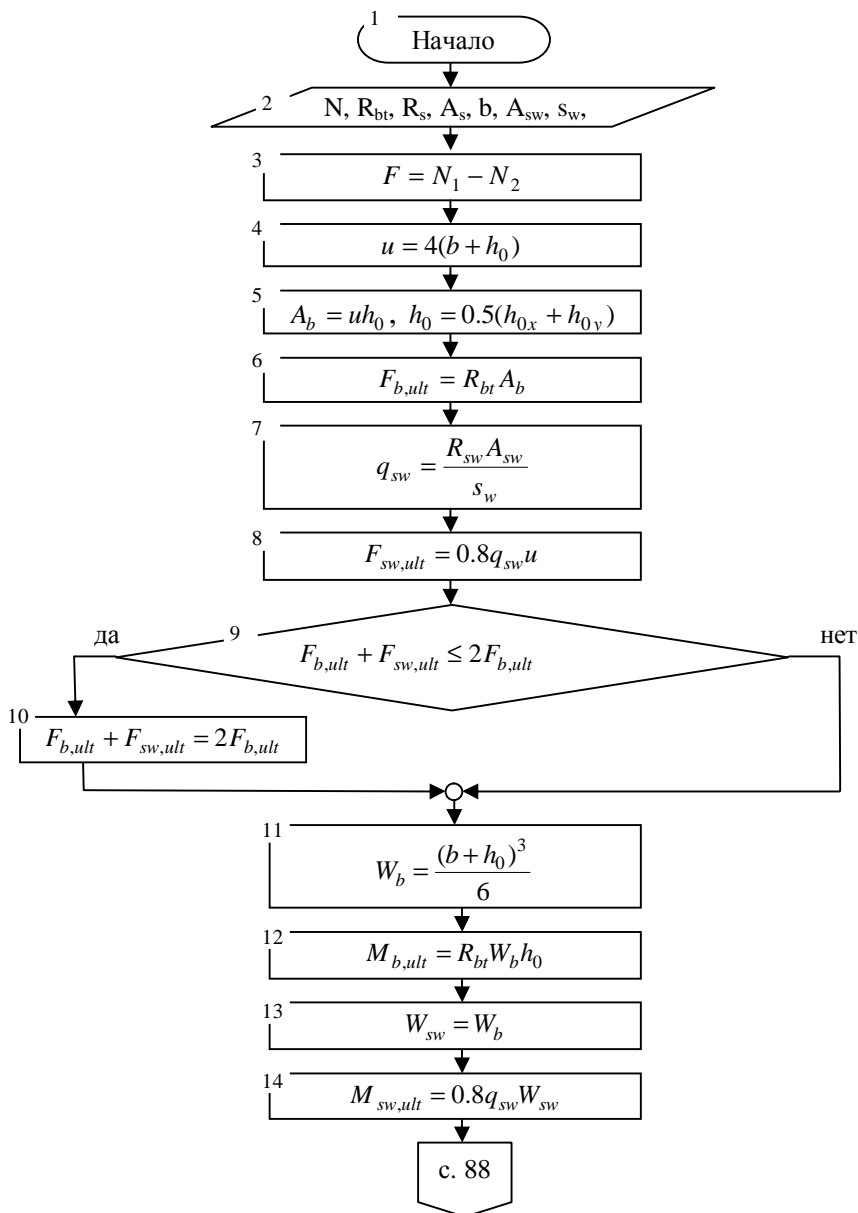
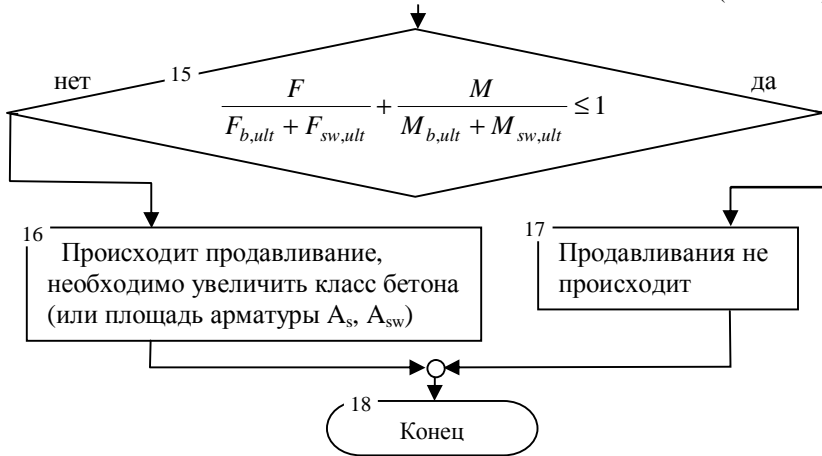


Рис. 9.2. Схема расчетного контура при продавливании (обозначения см. стр 135 [2]).

- Последовательность расчета железобетонных элементов на продавливание представлена в блок-схеме 9.1:

Блок-схема 9.1(начало)





Пример расчета 1.

Проверить сечение монолитного ригеля с рабочей высотой сечения $h_0 = 270 \text{ мм}$ на продавливание колонной. Расчет ведем по блок-схеме 9.1.

1. Начало.

2. $N_1 = 1834,5 \text{ кН}$ - усилие в колонне первого этажа, $N_2 = 1473,3 \text{ кН}$ - усилие в колонне второго этажа, $M = 23,76 \text{ кНм}$, поперечная арматура в сечении контура продавливания класса А240 $R_{sw} = 170 \text{ МПа}$, $A_{sw} = 101 \text{ мм}^2$, $s_w = 150 \text{ мм}$, размеры сечения колонны $h = b = 30 \text{ см}$.

3. $F = N_1 - N_2 = 1834,5 - 1473,3 = 361,2 \text{ кН}$.

4. $u = 4(b + h_0) = 4(30 + 27) = 228 \text{ см}$.

5. $A_b = uh_0 = 228 \cdot 27 = 6156 \text{ см}^2$.

6. $F_{b,ult} = R_{bt} A_b = 0,9/10 \cdot 6156 = 554,04 \text{ кН}$.

7. $q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{s_w} = \frac{170 \cdot 101}{150} = 1,145 \text{ кН / см}$.

8. $F_{sw,ult} = 0,8 q_{sw} u = 0,8 \cdot 1,145 \cdot 228 = 208,78 \text{ кН}$.

9. $554,04 + 208,78 = 762,82 \text{ кН} < 2 \cdot 554,4 = 1108,08 \text{ кН}$.

10. $F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 1108,08 \text{ кН}$

11. $W_b = \frac{(b + h_0)^3}{6} = \frac{(30 + 27)^3}{6} = 30865,5 \text{ см}^3$.

12. $M_{b,ult} = R_{bt} W_b = 0,9/10 \cdot 30865 = 2777,9 \text{ кНсм}$.

13. $W_{sw} = 30865 \text{ см}^3$ - принимается равным W_b при равномерном расположении арматуры.

14. $M_{sw,ult} = 0.8q_{sw}W_{sw} = 0.8 \cdot 1.145 \cdot 30865.5 = 28272. \text{ кНсм} .$

15. $\frac{361.2}{1108,08} + \frac{2376}{2777.9 + 28272.8} = 0.402 < 1$ - условие выполняется.

17. Продавливания не происходит.

Пример заполнения контрольного талона проверки решения задачи:

Фамилия студента: Иванов

группа: 03-401

Преподаватель:

Седов

Вариант задания: 1

Контролируемый параметр	F, кН	u, см	h ₀ , мм	$F_{b,ult} + F_{sw,ult}$	$M_{b,ult}$ кН см	$M_{sw,ult}$ кН см
Значение	361,2	228	270	1108,08	2777,9	28272

18. Конец.

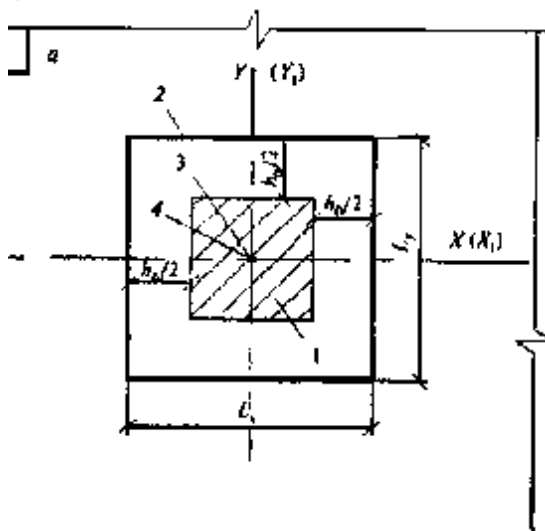


Рис. 9.3.К расчету опорного сечения ригеля на продавливание.

1. сечение колонны, 2. расчетный контур продавливания,
3. сосредоточенная сила

Индивидуальные задания для расчета плиты на продавливание.

Таблица 9.2

Варианты заданий

№	Класс бетона	Класс арматуры	A_{sw} , мм ²	s_w , мм	h , мм	b , мм	h_0 , мм	F , кН
1	B15	A240	201	100	300	300	157	300
2	B20	A300	302	150	250	250	196	350
3	B25	A240	402	200	300	250	177	400
4	B30	A300	157,1	100	250	350	156	320
5	B35	A240	314	150	250	400	177	468
6	B15	A300	302	200	300	250	156	473
7	B20	A240	126	100	300	300	157	289
8	B25	A300	201	150	250	250	196	370
9	B30	A240	302	200	300	250	177	300
10	B35	A300	402	100	250	350	156	350
11	B15	A240	157,1	150	250	400	177	400
12	B20	A300	314	200	300	250	156	320
13	B25	A240	302	100	300	300	157	468
14	B30	A300	126	150	250	250	196	473
15	B35	A240	201	200	300	250	177	289
16	B15	A300	302	100	250	350	156	370
17	B20	A240	402	150	250	400	177	300
18	B25	A300	157,1	200	300	250	156	350
19	B30	A240	314	100	300	300	157	400
20	B35	A300	302	150	250	250	196	320
21	B15	A240	126	200	300	250	177	468
22	B20	A300	201	100	250	350	156	473
23	B25	A240	302	150	250	400	177	289
24	B30	A300	402	200	300	250	156	370
25	B35	A240	157,1	100	300	300	157	300

Список литературы

1. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М., 2004.
2. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М.: ГУП НИИЖБ Госстроя России.
3. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003). ЦНИИПромзданий, НИИЖБ.- М.: ОАО «ЦНИИПромзданий», 2005. – 214 с.
4. Железобетонные и каменные конструкции: Учеб. для строит. Спец. вузов. В.М. Бондаренко. – М.: Высш. шк., 2002. – 876с.
5. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. М., 1985.
6. СП 13-102-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. ФГУП ЦПП, М., 2003. – 25с.
7. Проектирование железобетонных конструкций: Справоч. пособие/ А.Б. Гольшев, В.Я. Бачинский, В.П. Полищук и др.; Под ред. А.Б. Гольшева. – К. : Будівельник, 1985. – 496 с.
8. Основы расчета железобетона в вопросах и ответах: Учебное пособие В.В. Габрусенко. –М.: изд-во АСВ, 2002. – 104 с.

Приложение 1

Таблица 1

Расчетные сопротивления бетона для предельных состояний первой группы.

Вид сопротивления	Расчетные сопротивления бетона для предельных состояний первой группы R_b и R_{bt} , МПа (кгс/см ²) при классе бетона по прочности на сжатие										
	B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
Сжатие осевое, R_b	6,0 (61,2)	8,5 (86,6)	11,5 (117)	14,5 (148)	17,0 (173)	19,5 (199)	22,0 (224)	25,0 (255)	27,5 (280)	30,0 (306)	33,0 (336)
Растяжение осевое, R_{bt}	0,56 (5,7)	0,75 (7,6)	0,90 (9,2)	1,05 (10,7)	1,15 (11,7)	1,30 (13,3)	1,40 (14,3)	1,50 (15,3)	1,60 (16,3)	1,70 (17,3)	1,80 (18,3)

Таблица 2

Расчетные значения сопротивления арматуры для предельных состояний первой группы

Арматура классов	Расчетные значения сопротивления арматуры для предельных состояний первой группы, МПа (кгс/см ²)		
	растяжению		сжатию, R_{sc}
	продольной, R_s	поперечной (хомутов и отогнутых стержней), R_{sw}	
A240	215 (2190)		215 (2190)
A300	270 (2750)		270 (2750)
A400	355 (3620)		355 (3620)
A500	435 (4430)		400 (4080)
B500	415 (4230)		360 (3670)

Таблица 3

Расчетные сопротивления бетона для предельных состояний второй группы.

Вид сопротивления	Нормативные сопротивления бетона R_{bn} и $R_{bt,n}$ и расчетные значения сопротивления бетона для предельных состояний второй группы $R_{b,ser}$ и $R_{bt,ser}$ МПа (кгс/см ²) при классе бетона по прочности на сжатие										
	B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
Сжатие осевое R_{bn} , $R_{b,ser}$	7,5 (76,5)	11,0 (112)	15,0 (153)	18,5 (188)	22,0 (224)	25,5 (260)	29,0 (296)	32,0 (326)	36,0 (367)	39,5 (403)	43,0 (438)
Растяжение $R_{bt,n}$ $R_{bt,ser}$	0,85 (8,7)	1,10 (11,2)	1,35 (13,8)	1,55 (15,8)	1,75 (17,8)	1,95 (19,9)	2,10 (21,4)	2,25 (22,9)	2,45 (25,0)	2,60 (26,5)	2,75 (28,0)

Таблица 4

Расчетные сопротивления растяжению арматуры для предельных состояний второй группы

Арматура классов	Номинальный диаметр арматуры, мм	Нормативные значения сопротивления растяжению $R_{s,n}$ и расчетные значения сопротивления растяжению для предельных состояний второй группы $R_{s,ser}$ МПа (кгс/см ²)
A240	6-40	240 (2450)
A300	10-70	300 (3060)
A400	6-40	400 (4080)
A500	6-40	500 (5100)
B500	3-12	500 (5100)

Таблица 5

Значения начального модуля упругости бетона при сжатии и растяжении

Значения начального модуля упругости бетона при сжатии и растяжении $E_b \cdot 10^{-3}$, МПа (кгс/см ²), при классе бетона по прочности на сжатие										
B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
19,0 (194)	24,0 (245)	27,5 (280)	30,0 (306)	32,5 (331)	34,5 (352)	36,0 (367)	37,0 (377)	38,0 (387)	39,0 (398)	39,5 (403)

Значения модуля упругости арматуры E_s принимают одинаковыми при растяжении и сжатии и равными $E_s = 2,0 \cdot 10^5$ МПа = $2,0 \cdot 10^6$ кгс/см².

Таблица 6

Значения коэффициентов ξ_R и a_R в зависимости от класса продольной арматуры

Класс арматуры	A240	A300	A400	A500	B500
Значение ξ_R	0,612	0,577	0,531	0,493	0,502
Значение a_R	0,425	0,411	0,390	0,372	0,376

Значение $\varepsilon_{b1,red}$ равно:

при непродолжительном действии нагрузки - $15 \cdot 10^{-4}$;

при продолжительном действии нагрузки в зависимости от относительной влажности воздуха окружающей среды $w\%$:

при $w > 75\%$ - $24 \cdot 10^{-4}$;

при $75\% \geq w \geq 40\%$ - $28 \cdot 10^{-4}$;

при $w < 40\%$ - $34 \cdot 10^{-4}$.

Значения коэффициента γ , учитывающего неупругие деформации растянутого бетона

Форма сечения	Коэффициент γ
1. Прямоугольное	1,30
2. Тавровое с полкой, расположенной в сжатой зоне	1,30
3. Тавровое с полкой (уширением), расположенной в растянутой зоне:	
а) при $bf/b \leq 2$ независимо от отношения hf/h	1,25
б) при $bf/b > 2$ и $hf/h \geq 0,2$	1,25
в) при $bf/b > 2$ и $hf/h < 0,2$	1,20
4. Двутавровое симметричное (коробчатое):	
а) при $b'f/b = bf/b \leq 2$ независимо от отношения $h'f/h = hf/h$	1,30
б) при $2 < b'f/b = bf/b \leq 6$ независимо от отношения $h'f/h = hf/h$	1,25
в) при $b'f/b = bf/b > 6$ и $h'f/h = hf/h \geq 0,2$	1,25
г) при $6 < b'f/b = bf/b \leq 15$ и $h'f/h = hf/h < 0,2$	1,20
д) при $b'f/b = bf/b \geq 15$ и $h'f/h = hf/h < 0,2$	1,15

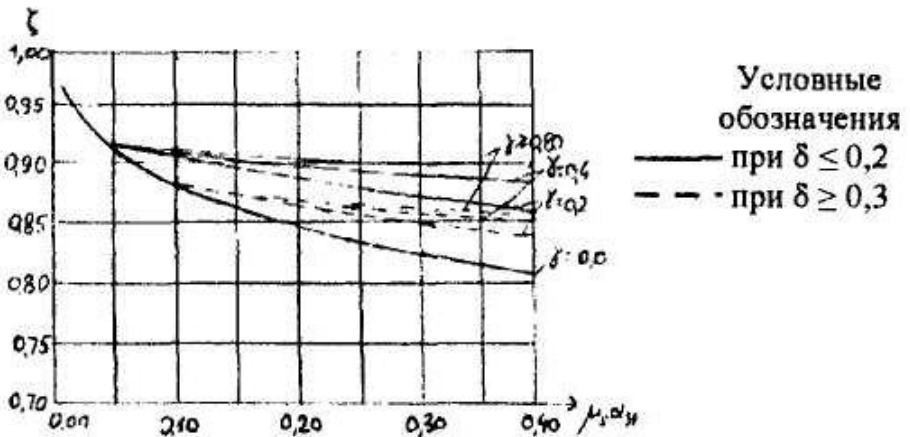


Рис. 1. График коэффициента $\zeta = z_s/h_0$ для определения плеча внутренней пары сил при расчете по раскрытию трещин изгибаемых элементов

Таблица 1

Значения коэффициента φ_b

$\frac{N_l}{N}$	Коэффициент φ_b при l_0/h							
	6	8	10	12	14	16	18	20
0	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,84
0,5	0,92	0,91	0,90	0,89	0,86	0,82	0,77	0,71
1,0	0,92	0,91	0,89	0,87	0,83	0,76	0,68	0,60

Таблица 2

Значения коэффициента φ_{sb}

$\frac{N_l}{N}$	Коэффициент φ_{sb} при l_0/h							
	6	8	10	12	14	16	18	20
А. При $a = a' < 0,15h$ и при отсутствии промежуточных стержней (см. эскиз) или площади сечения этих стержней менее $A_{s,tot}/3$								
0	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,83
0,5	0,92	0,91	0,91	0,90	0,88	0,87	0,83	0,79
1,0	0,92	0,91	0,90	0,90	0,88	0,85	0,80	0,74
Б. При $0,25h > a = a' \geq 0,15h$ или при площади промежуточных стержней (см. эскиз), равной или более $A_{s,tot}/3$ независимо от a								
0	0,92	0,92	0,91	0,89	0,87	0,85	0,82	0,79
0,5	0,92	0,91	0,90	0,88	0,85	0,81	0,76	0,71
1,0	0,92	0,91	0,89	0,87	0,83	0,77	0,70	0,62

Сортамент арматуры.

Номи н. диаме тр стерж ня, мм	Расчетная площадь поперечного стержня, мм ² , при числе стержней									Теор. масса 1м длины армат. , кг	Диаметр арматуры классов		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		A24 0	A300	B50 0
3	7,1	14,1	21,2	283	35,3	42,4	49,5	56,5	63,6	0,052	-	-	+
4	12,6	25,1	37,7	50,2	62,8	75,4	87,9	100,5	113	0,092	-	-	+
5	19,6	393	58,9	78,5	98,2	117,8	137,5	157,1	176,7	0,144	-	-	+
6	283	57	85	113	141	170	198	226	254	0,222	+	-	+
8	503	101	151	201	251	302	352	402	453	0,395	+	-	+
10	78,5	157	236	314	393	471	550	628	707	0,617	+	+	+
12	113,1	226	339	452	565	679	792	905	1018	0,888	+	+	+
14	153,9	308	462	616	769	923	1077	1231	1385	1,208	+	+	-
16	201,1	402	603	804	1005	1206	1407	1608	1810	1,578	+	+	-
18	254,5	509	763	1018	1272	1527	1781	2036	2290	1,998	+	+	-
20	314,2	628	942	1256	1571	1885	2199	2513	2828	2,466	+	+	-
22	380,1	760	1140	1520	1900	2281	2661	3041	3421	2,984	+	+	-
25	490,9	982	1473	1963	2454	2945	3436	3927	4418	3,84	+	+	-
28	615,8	1232	1847	2463	3079	3685	4310	4926	5542	4,83	+	+	-
32	804,3	1609	2413	3217	4021	4826	5630	6434	7238	6,31	+	+	-
36	1017,9	2036	3054	4072	5089	6107	7125	8143	9161	7,99	+	+	-
40	1256,6	2513	3770	5027	6283	7540	8796	10053	11310	9,865	+	+	-

П р и м е ч а н и я :

1. Номинальный диаметр стержней для арматурных сталей периодического профиля соответствует номинальному диаметру равновеликих по площади поперечного сечения стержней. Фактические размеры стержней периодического профиля устанавливаются ГОСТ 5781-82.
2. Знак "+" означает наличие диаметра в сортаменте для арматуры данного класса.

Таблица 2

Соотношение между диаметрами свариваемых стержней и минимальные расстояния между стержнями в сварных сетках и каркасах.

Диаметр стержня одного направления, мм	3	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32
Наименьший допустимый диаметр стержня другого направления, мм	3	3	3	3	3	4	4	5	5	6	8	8	8
Наименьшее допустимое расстояние между осями стержней одного направления, мм	50	50	75	75	75	75	75	100	100	100	150	150	150
То же, продольных стержней при двухрядном их расположении в каркасе, мм	-	40	40	40	50	50	50	50	60	60	60	70	70

**Соколов Борис Сергеевич
Седов Артур Наилевич**

**ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ПО СП 52-101-2003**

Учебное пособие

Редактор Б.С. Соколов

Редакционно-издательский отдел
Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Подп. в печать
Заказ
Усл. печ. л. 6,1

Формат 60×84/16
Тираж экз.
Уч.-изд. Л. 6,1

Бумага тип. №1

Печатно-множительный отдел КГАСУ
Лицензия № _____ от _____ г.
420043, Казань, Зелёная, 1