

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РФ  
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Б.С. Соколов, Г.П. Никитин, 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 27100 «строительство».

Казань 2009

УДК 624.012  
ББК 38.51  
С59

С59 Соколов Б.С., Никитин Г.П., Седов А.Н.  
Примеры расчета и конструирования железобетонных конструкций по СП 52-101-2003: Учебное пособие. – Казань: КГАСУ, 2009г. – 96с.

**ISBN 978-5-7829-0194-3**

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 строительных специальностей.

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

Илл. 24; табл. 46; блок-схем 14; библиогр. 8.

УДК 624.012  
ББК 38.51

**ISBN 978-5-7829-0194-3**

- © Соколов Б.С., Никитин Г.П.  
Седов А.Н., 2009
- © Казанский государственный  
архитектурно-строительный  
университет, 2009

# 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 .....	51
6. Расчет железобетонных элементов по деформациям .....	61
7. Расчет внецентренно сжатых элементов на прочность по сечениям, нормальным к продольной оси .....	70
8. Расчет элементов на продавливание при действии сосредоточенной силы и изгибающего момента.....	81
Список литературы .....	88
Приложение 1. Расчетные характеристики бетона и арматуры для расчета по первой группе предельных состояний .....	89
Приложение 2. Расчетные характеристики бетона и арматуры для расчета по второй группе предельных состояний .....	90
Приложение 3. Значения коэффициентов $j_b$ и $j_{sb}$ для расчета колонны.....	94
Приложение 4. Сортамент арматуры.....	95

## ВВЕДЕНИЕ

Пособие по расчету и конструированию железобетонных элементов по СП 52-101-2003 и представлено 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.

Пособие содержит контрольные вопросы, блок-схемы для решения задач, примеры расчета и конструирования железобетонных элементов, и может быть использовано 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 проведении занятий в компьютерном классе. Если занятия проводятся в аудиториях, не оборудованных 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.

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	$g_b$	$h_0$ , мм	$a_m$	$x$	$A_s$ , мм <sup>2</sup>	$A'_s$ , мм <sup>2</sup>
Значение	13,05	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, предъявляемых 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 ( $R_b$ ,  $R_{bt}$ ) и деформационные характеристики ( $\epsilon_b$ ,  $E_b$ ,  $G$ ,  $\nu$ ).

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 ( $\epsilon_{s,n}$ ).

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, её анкеровки, защиты от агрессивной среды).

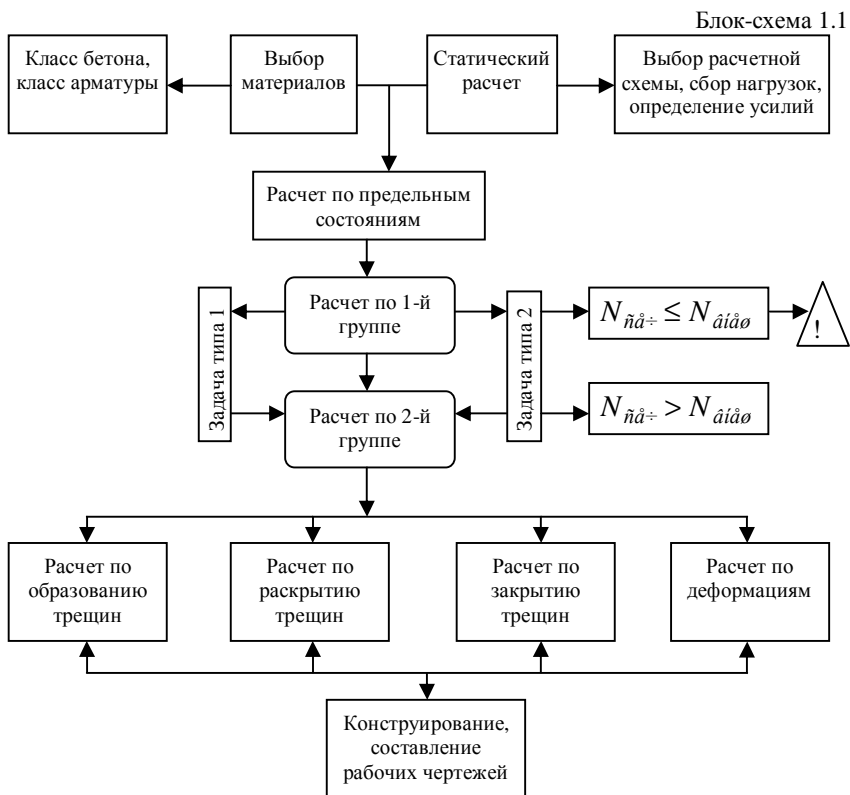
Требования технологии изготовления и возведения устанавливаются для необходимости обеспечения нормируемых физико-механических свойств материалов и относятся к подбору состава бетона, установки соответствующей проекту арматуры. Их выполнение должно гарантировать конструкционную безопасность, эксплуатационную 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 [5].

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 [5];
- определить усилия, используя известные подходы строительной механики.

## Последовательность 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 № 2, 3, а также ответить на контрольные вопросы.

Таблица 2.1

### *Контрольные вопросы.*

1. Какой элемент называется изгибаемым?	а) Изгибаемыми называют элементы, в поперечном сечении которых при действии внешней нагрузки возникает изгибающий момент. б) Изгибаемыми называют элементы, в поперечном сечении которых при действии равномерно распределенной внешней нагрузки возникает изгибающий момент и поперечная сила. в) Изгибаемыми называют элементы, на которые действует равномерно распределенная внешняя нагрузка.
2. Какие характеристики бетона и арматуры учитываются при расчете на прочность по сечениям, нормальным к продольной оси?	а) Расчетные значения сопротивления бетона и арматуры осевому сжатию и растяжению. б) Нормативные значения сопротивления бетона и арматуры осевому сжатию и осевому растяжению. в) Нормативные значения сопротивления бетона и арматуры осевому сжатию, значения начального модуля упругости бетона и арматуры.
3. Чем обеспечивается несущая способность нормального к продольной оси сечения на изгиб?	а) Моментом внутренней пары сил. б) Изгибающим моментом от внешних нагрузок. в) Расчетным сопротивлением бетона сжатию.

4. Укажите критерий установки сжатой арматуры по расчету?	а) $a_R < 0$ . б) $a_m > a_R$ . в) $h_0 < 400\text{мм}$ .
5. Назовите стадии напряженно-деформированного состояния нормальных сечений железобетонных элементов при изгибе?	а) Упругая стадия, стадия разрушения. б) Образование трещин, разрушение. в) 3 стадии: упругая стадия, 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.

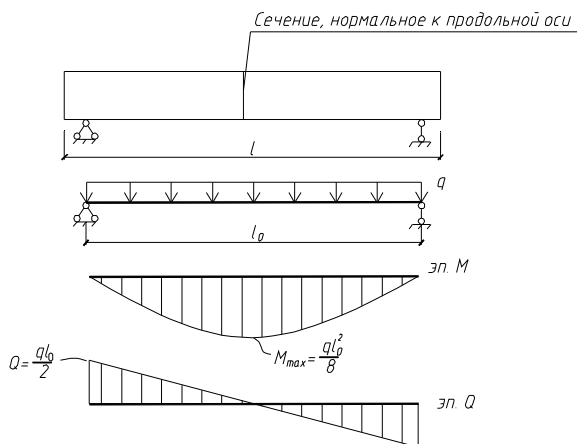


Рис. 2.1. Изгибаемый элемент.

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).

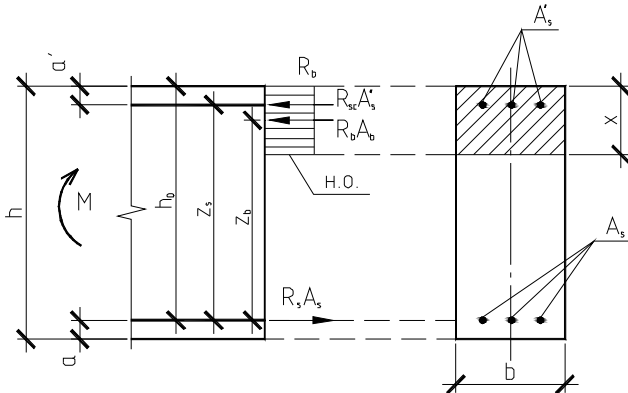
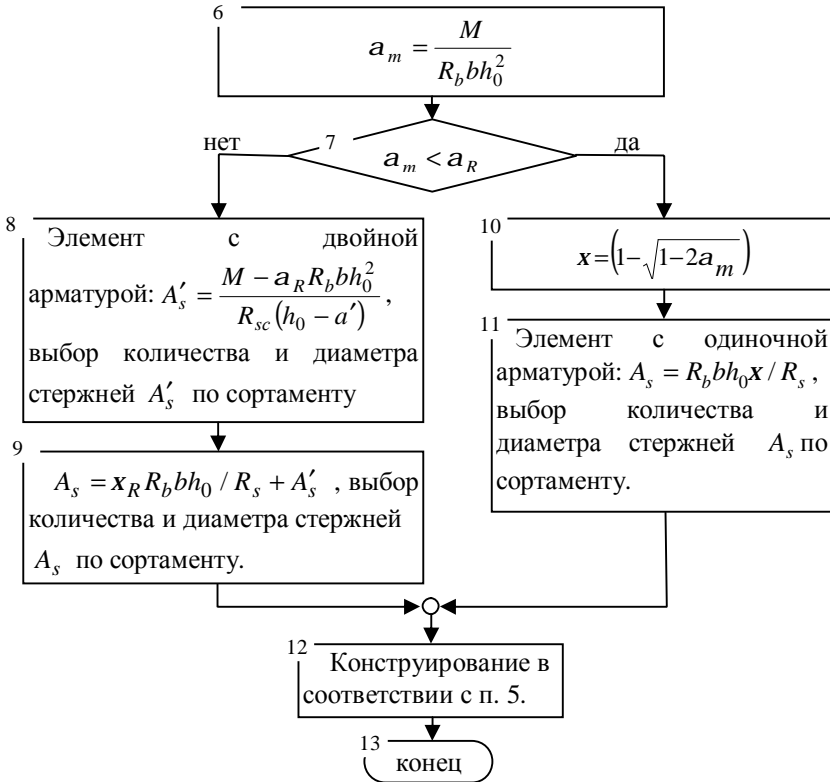


Рис. 2.2. Схема усилий и эпюра напряжений в поперечном прямоугольном сечении изгибаемого железобетонного элемента с двойной арматурой

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



Блок-схема 2.1 (окончание)



### 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. Расчет ведем по блок-схеме 2.1.

Характеристики бетона и арматуры (по прил. 1 табл. 1, 2). Бетон тяжелый, класса В20,  $R_b = 11,5 \text{ МПа}$ . Продольная рабочая арматура класса А400,  $R_s = 355 \text{ МПа}$ . Изгибающий момент с учетом только длительных нагрузок  $M = 213 \text{ кНм}$ . Тогда с учетом коэффициента  $g_{b1} = 0,9$  значение  $R_b = 0,9 \cdot 11,5 = 10,35 \text{ МПа}$  будет равно:  $R_b = 0,9 \cdot 11,5 = 10,35 \text{ МПа}$ .

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

3. Предварительно назначаем ширину балки:

$b > 100 + 100 + 20 = 220 \text{ мм}$  (размеры см. исходные данные),  
 $b = 250 \text{ мм}$  – кратно 50 мм.

4. Принимая  $x = 0,35$ ,  $h_0 = \sqrt{\frac{213 \cdot 10^6}{0,35(1 - 0,5 \cdot 0,35) \cdot 10,35 \cdot 250}} = 533,94 \text{ мм}$ .

5. По п. 5 принимаем  $a = 40 \text{ мм}$ . Тогда  $h = 533,94 + 40 = 573,94 \text{ мм}$ .  
Принимаем  $b = 250 \text{ мм}$ ,  $h = 600 \text{ мм}$  – кратно модулю 50 мм;  
 $250/600 = 0,42$ .

Уточняем значение  $h_0$  по принятому значению высоты  $h$ :  
 $h_0 = 600 - 40 = 560 \text{ мм}$ .

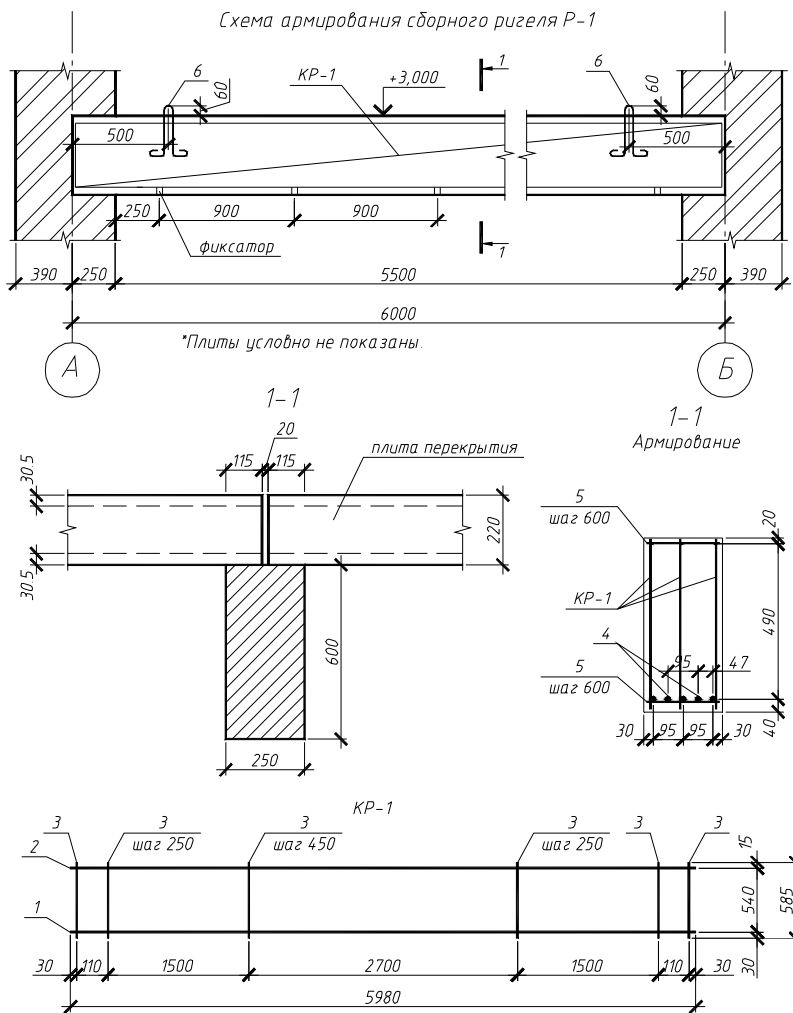


Рис. 2.3. Конструирование элемента (к примеру расчета 1).

Таблица 2.2

Спецификация сборного ригеля Р-1

Поз	Обозначение	Наименование	Кол	Примечание
		<u>Сборочные единицы</u>		
		<u>Каркасы плоские</u>		
КР-1		КР-1	3	
		<u>Детали</u>		
4	ГОСТ 5781-82*	φ18 А400 l=5980	2	11,948
5	ГОСТ 6727-82*	φ5 В500 l=230	20	0,033
6	ГОСТ 5781-82*	φ10 А240 l=1200	2	0,74
		<u>Материалы</u>		
		Бетон тяжелый кл В20		0,9м <sup>3</sup>

Таблица 2.3

Спецификация арматурных изделий

Марка изделия	Поз	Наименование	Кол	Масса 1 дет., кг	Масса изд., кг
КР-1	1	φ18 А400 l=5980	1	11,948	14.573
	2	φ5 В500 l=5980	1	0,861	
	3	φ5 В500 l=585	21	0,084	

Таблица 2.4

Ведомость расхода стали, кг

Марка элемента	Изделия арматурные								Всего
	Арматура класса								
	В500		А240		А400				
	ГОСТ 6727-82*		ГОСТ 5781-82*		ГОСТ 5781-82*				
	φ5	Итого	φ10	Итого	φ18	-	Итого		
Р-1	8,535	8,535	1,48	1,48	59,74		59,74	69,755	

## Ведомость деталей

Поз	Эскиз
6	

$$6. a_m = \frac{213 \cdot 10^6}{11,5 \cdot 250 \cdot 560^2} = 0,262.$$

7.  $a_m = 0,262 < a_R = 0,39$  - сжатая арматура по расчету не требуется.

$$10. x = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,262}) = 0,31.$$

$$11. A_s = \frac{10,35 \cdot 250 \cdot 510 \cdot 0,31}{355} = 1265,32 \text{ мм}^2. \text{ По сортаменту (прил. 4}$$

табл. 1) принимаем 5 Ø 18  $A_s = 1272 \text{ мм}^2$ .  $\Delta = \frac{1272 - 1265,32}{1265,32} 100\% = 0,5\%$ .

12. Конструирование элемента см. рис. 2.3.

Толщина защитного слоя бетона составляет  $a - d / 2 = 40 - 18 / 2 = 31 \text{ мм} > 20 \text{ мм}$ . Расстояние между стержнями в свету составляет 25 мм.

Поперечную арматуру назначаем из условий свариваемости по табл. 2 прил. 2 класса В500 диаметром 5 мм и устанавливаем конструктивно с шагом 250 мм (что не более  $0,5h_0 = 280 \text{ мм}$ ).

Продольную сжатую арматуру принимаем конструктивно диаметром 5 мм класса В500.

Монтажную арматуру принимаем конструктивно диаметром 5 мм класса В500 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	$g_{b1}$	$h_0$ , мм	$a_m$	$x$	$A_s$ , мм <sup>2</sup>	$A'_s$ , мм <sup>2</sup>
Значение	10,35	0,9	560	0,26	0,31	1256	-

13. Конец.

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

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

1. Начало.

2. По заданию выбираем геометрические размеры изгибаемого железобетонного элемента:  $b = 250 \text{ мм}$ ,  $h = 500 \text{ мм}$ , пролет 6 м. Характеристики бетона и арматуры (по прил. 1 табл. 1, 2). Бетон тяжелый, класса В25,  $R_b = 14,5 \text{ МПа}$ . Продольная рабочая арматура класса А400,  $R_s = 355 \text{ МПа}$ . Изгибающий момент  $M = 220 \text{ кНм}$ . По табл. 3.2 или прил. 1 табл. 3 находим  $x_R = 0,531$ ,  $a_R = 0,39$ .

5. Принимаем  $a = 65 \text{ мм}$ ,  $a' = 35 \text{ мм}$ . Тогда  $h_0 = 500 - 65 = 435 \text{ мм}$ .

$$6. a_m = \frac{220 \cdot 10^6}{14,5 \cdot 250 \cdot 435^2} = 0,404.$$

7.  $a_m = 0,404 > a_R = 0,39$  - требуется установка сжатой арматуры.

$$8. A'_s = \frac{220 \cdot 10^6 - 0,39 \cdot 14,5 \cdot 250 \cdot 435^2}{355(435 - 35)} = 55,15 \text{ мм}^2.$$

(прил. 2 табл. 1) принимаем 2 Ø 8  $A'_s = 101 \text{ мм}^2$ .

9.  $A_s = 0,531 \cdot 14,5 \cdot 250 \cdot 435 / 355 + 101 = 1925,8 \text{ мм}^2$ . По сортаменту (прил. 2 табл. 1) принимаем 4 Ø 25  $A_s = 1963 \text{ мм}^2$ .

$\Delta = \frac{1963 - 1925,8}{1925,8} 100\% = 1,9\%$ . Арматурные стержни располагаем в 2 ряда.

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

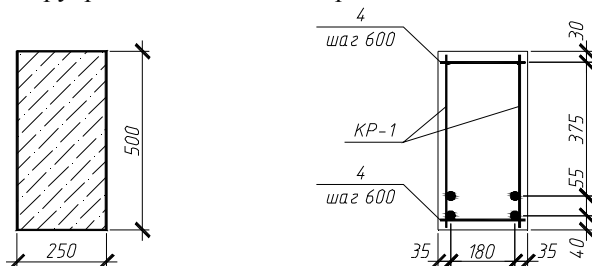


Рис. 2.4. Конструирование элемента (к примеру расчета 2).

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 А240 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 А240 и устанавливаем с шагом 600 мм согласно п. 5.18.

Пример заполнения контрольного талона проверки решения задачи:

Фамилия студента: Иванов группа: 03-401 Преподаватель: Седов  
 Вариант задания: 1

Контролируемый параметр	$R_b$ , МПа	$g_b$	$h_0$ , мм	$a_m$	$x$	$A_s$ , мм <sup>2</sup>	$A'_s$ , мм <sup>2</sup>
Значение	14,5	-	435	0,404	-	1925,8	55,15

13. Конец.

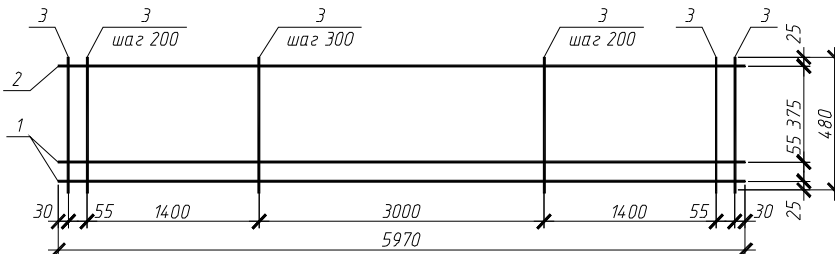


Рис. 2.5. Плоский каркас КР-1 (к примеру расчета 2)

Таблица 2.6

Спецификация железобетонного элемента

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		<u>Сборочные единицы</u>		
		<u>Каркасы плоские</u>		
КР-1		КР-1	2	
		<u>Детали</u>		
4	ГОСТ 5781-82*	φ 8 А240 l=230	20	0,091
5	ГОСТ 5781-82*	φ 10 А240 l=1200	2	0,74
		<u>Материалы</u>		
		Бетон тяжелый кл В25		0,75м <sup>3</sup>

Таблица 2.7

Спецификация арматурных изделий

Марка изделия	Поз.	Наименование	Кол.	Масса 1 дет., кг	Масса изд., кг
КР-1	1	φ25 А400 l=5970	2	22,925	53.3272
	2	φ8 А400 l=5970	1	2,358	
	3	φ8 А240 l=480	27	0.1896	

Таблица 2.8

Ведомость расхода стали, кг

Марка элемента	Изделия арматурные							Всего
	Арматура класса							
	А240			А400				
	ГОСТ 5781-82*			ГОСТ 5781-82*				
	φ8	φ10	Итого	φ8	φ25	Итого		
Р-1	12,058	1,48	13,538	4,716	91,7	96,416	109,954	

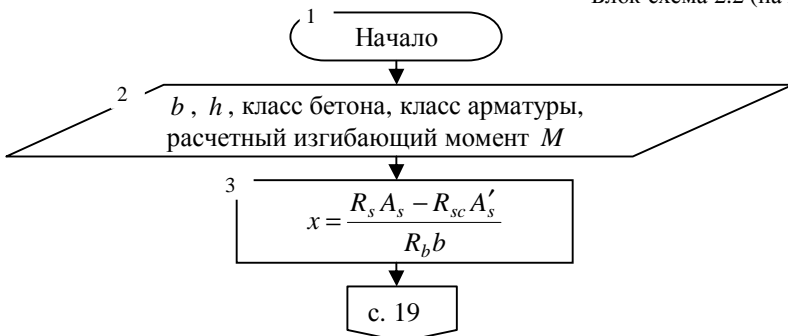
Таблица 2.9

Ведомость деталей

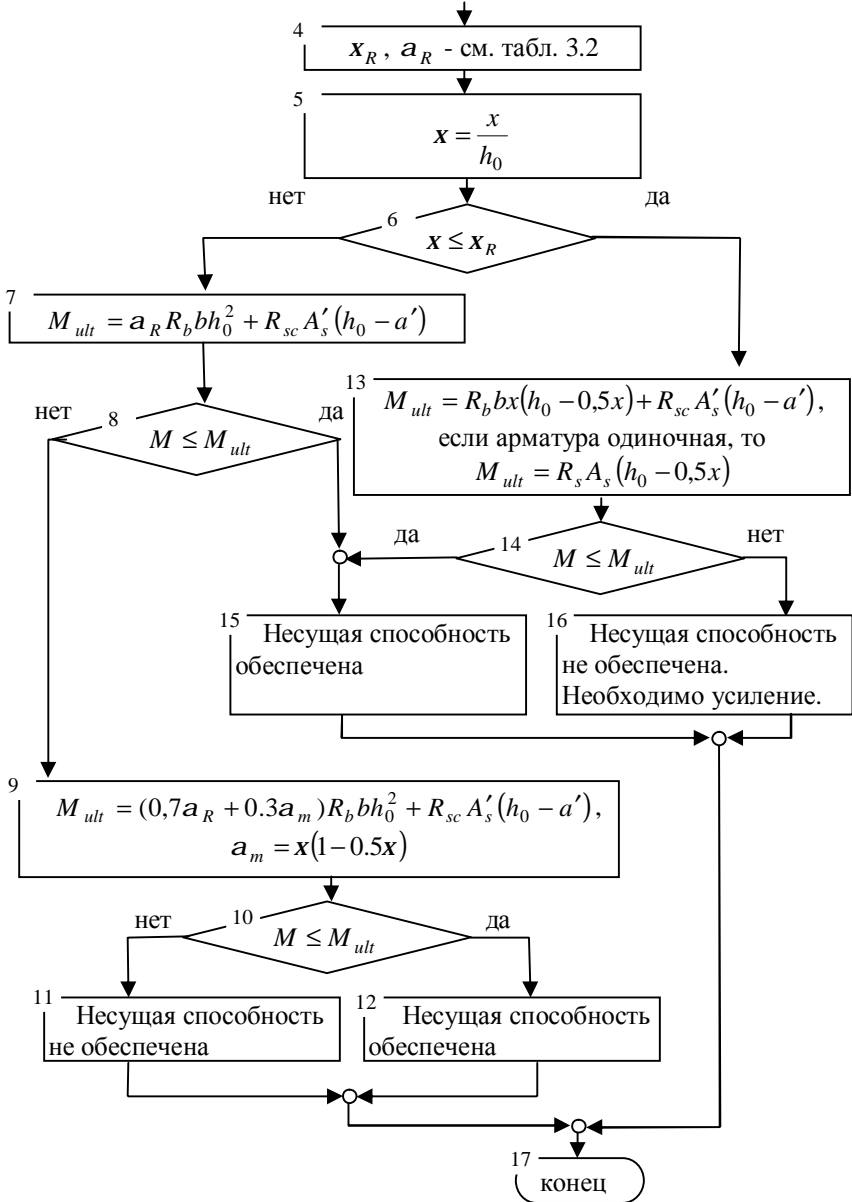
Поз.	Эскиз
5	

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

Блок-схема 2.2 (начало)



Блок-схема 2.2 (окончание)



**Пример расчета 3. (задача типа 2).**

Проверить прочность сечения железобетонного элемента. Расчет ведем по блок-схеме 2.2.

1. Начало.

2. По заданию геометрические размеры изгибаемого железобетонного элемента:  $b = 250\text{мм}$ ,  $h = 550\text{мм}$ ,  $a = 35\text{мм}$ ,  $a' = 30\text{мм}$ . Характеристики бетона и арматуры (по прил. 1 табл. 1, 2). Бетон тяжелый, класса В20,  $R_b = 11,5\text{МПа}$ . Продольная растянутая арматура 3 Ø 25 класса А400,  $R_s = 355\text{МПа}$ ,  $A_s = 1473\text{мм}^2$ , продольная сжатая 3 Ø 8 класса А400,  $R_{sc} = 355\text{МПа}$ ,  $A'_s = 151\text{мм}^2$ . Изгибающий момент после проведения реконструкции  $M = 218\text{кНм}$ .  $h_0 = 550 - 35 = 515\text{мм}$ .

$$3. x = \frac{355 \cdot 1473 - 355 \cdot 151}{11,5 \cdot 250} = 163,24\text{мм}.$$

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

$$5. x = \frac{163,24}{0,531} = 307,42\text{мм}.$$

$$6. x = 307,42 < x_R = 531\text{мм}.$$

$$13. M_{ult} = 11,5 \cdot 250 \cdot 181,88(515 - 0,5 \cdot 181,88) + 355 \cdot 151(515 - 30) = 229,39 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 229,39\text{кНм}.$$

$$14. M_{ult} = 229,39\text{кНм} > M = 218\text{кНм}.$$

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	$g_b$	$h_0$ , мм	$x$ , мм	$x$	$M_{ult}$ , кНм
Значение	11,5	-	515	163,24	0,317	229,39

17. Конец.

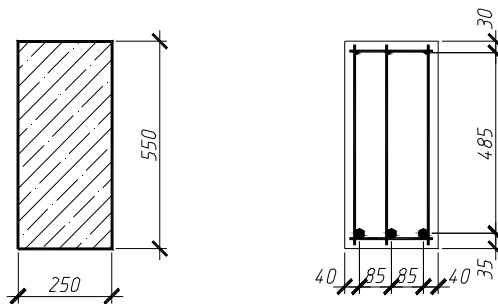


Рис. 2.6. К примеру расчета 3

**Индивидуальные задания для решения задач типа 1 (с использованием изгибающего момента  $M_1$ ) и типа 2 (с использованием изгибающего момента  $M_2$ ).**

Таблица 2.10

Варианты заданий

№	$b$ , мм	$h$ , мм	Класс бетона	Класс арматуры	$M_1$ , кНм	$M_2$ , кНм
1	300	600	B20	A400	208,3	215
2	300	600	B25	A400	262,8	270
3	250	500	B30	A400	202,4	220
4	200	400	B15	A400	52,3	60
5	250	550	B20	A300	104,5	120
6	200	450	B25	A400	113,7	120
7	200	400	B30	A300	53,0	60
8	250	500	B15	A400	144,8	150
9	200	500	B20	A300	154,5	170
10	300	700	B35	A400	240,3	255
11	300	700	B30	A300	275,5	300
12	200	550	B15	A400	156,3	170
13	300	600	B20	A400	265,9	270
14	200	450	B25	A400	119,5	125
15	250	550	B30	A300	118,9	125
16	250	600	B25	A400	200,4	220
17	200	450	B25	A400	150	170
18	200	400	B30	A300	160	170
19	250	500	B15	A400	163	170
20	200	500	B25	A300	200	215
21	250	400	B30	A400	130	150
22	200	550	B15	A300	150,9	165
23	250	450	B25	A400	114,7	120
24	200	500	B30	A300	102,0	120
25	300	700	B35	A400	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 № 3, 4, а также ответить на контрольные вопросы.

Таблица 3.1

#### **Контрольные вопросы.**

1. В каких случаях изгибаемый элемент таврового профиля рассчитывается как прямоугольный с шириной $b = b'_f$ ?	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 ( $x < h'_f$ ).
2. По какому принципу формируется поперечное приведенное двутавровое сечение плит с круглыми пустотами?	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.
3. Назовите основной параметр таврового сечения, принимаемый при назначении расчетного значения свесов полок.	а) $h'_f$ . б) $h_0$ . в) $b$ .
4. Назовите минимальное значение толщины защитного слоя бетона монолитного элемента, эксплуатируемого в помещении при нормальной влажности.	а) 15 мм. б) 20 мм. в) 25 мм.
5. Минимальный диаметр продольной рабочей растянутой арматуры изгибаемого элемента составляет ...	а) 16 мм. б) 14 мм. в) 12 мм.

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).

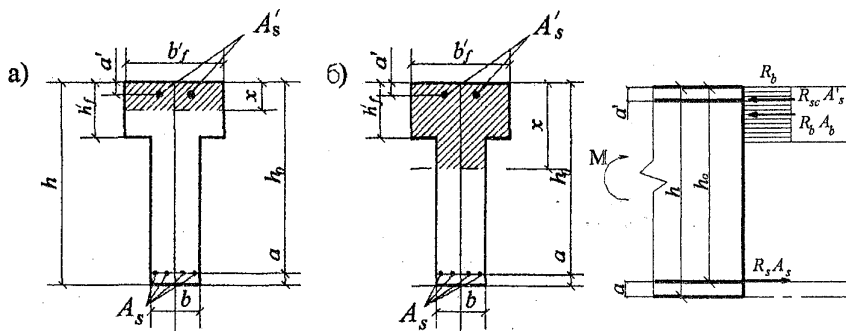
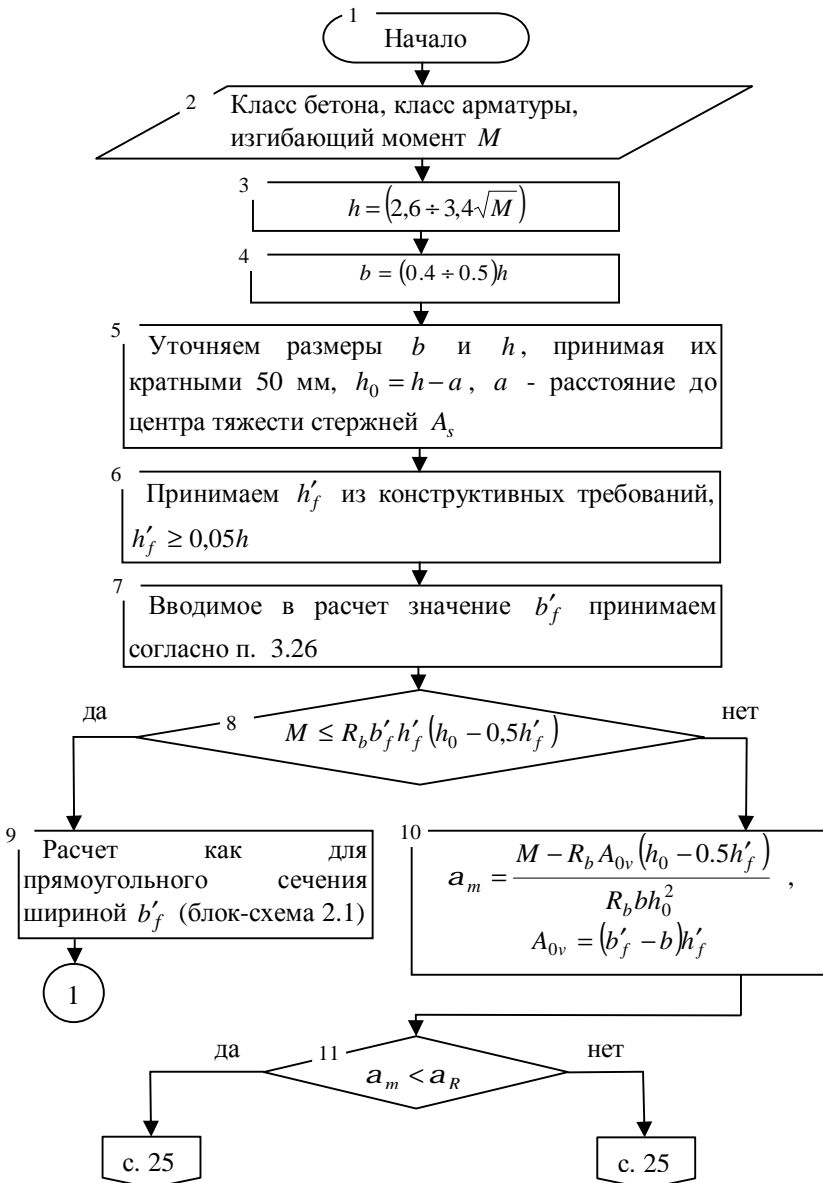


Рис. 3.1. Схема усилий и эпюра напряжений в поперечном сечении элемента; положение границы сжатой зоны в тавровом сечении изгибаемого железобетонного элемента а – в полке; б – в ребре

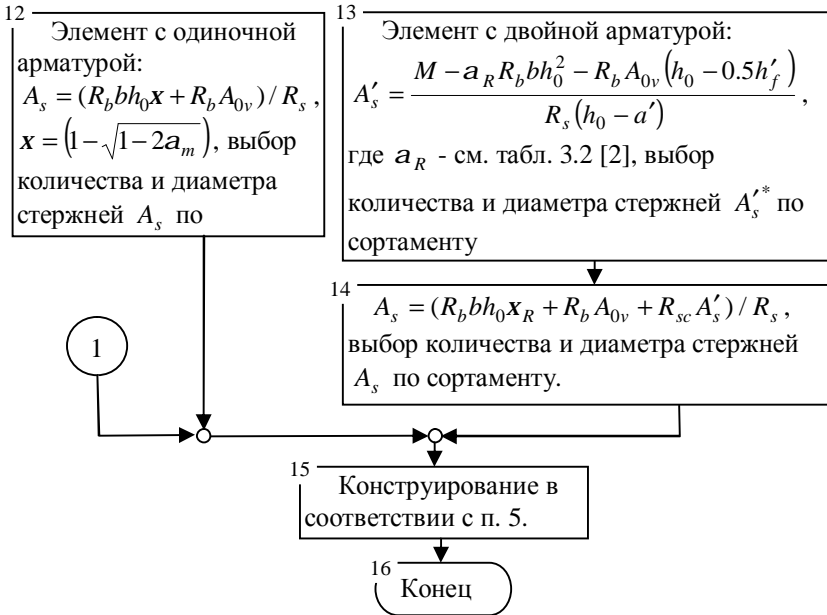
В тексте использованы ссылки на пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003).

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

Блок-схема 3.1 (начало)







**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 (определяем по прил. 1 табл. 1, 2). Бетон тяжелый, класса В40,  $R_b = 22 \text{ МПа}$ . Продольная рабочая арматура класса А400,  $R_s = 355 \text{ МПа}$ . Изгибающий момент  $M = 300 \text{ кНм}$ .

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.  $h'_f \geq 0,05 \cdot 550 = 27,5 \text{ мм}$ .

7.  $h'_f \geq 0,1 \cdot 550 = 55 \text{ мм}$ , принимаем  $h'_f = 60 \text{ мм}$ .  $b'_f = 6 \cdot 60 = 360 \text{ мм}$ .

8.  $M = 300 \text{ кНм} > 22 \cdot 360 \cdot 60(485 - 0,5 \cdot 60) = 216,22 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 216,22 \text{ кНм}$  - граница сжатой зоны проходит в ребре.

$$9. a_m = \frac{300 \cdot 10^6 - 22 \cdot 9600(485 - 0,5 \cdot 60)}{22 \cdot 200 \cdot 485^2} = 0,161, \text{ где}$$

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

11.  $a_m = 0,161 < a_R = 0,39$  - установка сжатой арматуры не требуется.

12.  $A_s = (22 \cdot 200 \cdot 485 \cdot 0,222 + 22 \cdot 9600) / 355 = 1929,43 \text{ мм}^2$ , где

$x = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,161}) = 0,222$ . По сортаменту (прил. 2 табл. 1)

принимаем 4 Ø 25  $A_s = 1963 \text{ мм}^2$ ,  $\Delta = \frac{1963 - 1929,43}{1929,43} 100\% = 1,7\%$ .

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  $65 - 25 - 30 / 2 = 25 \text{ мм}$  - 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 Ø 8 класса А240.

Поперечную арматуру назначаем из условий свариваемости по табл. 2 прил. 2 класса А240 диаметром 8 мм и устанавливаем конструктивно с шагом 200 мм (что не более  $0,5h_0 = 242,5 \text{ мм}$ ). 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	$g_b$	$h_0$ , мм	$a_m$	$x$	$A_s$ , мм <sup>2</sup>	$A'_s$ , мм <sup>2</sup>
Значение	22	-	485	0,161	0,222	1929,43	-

16. Конец.

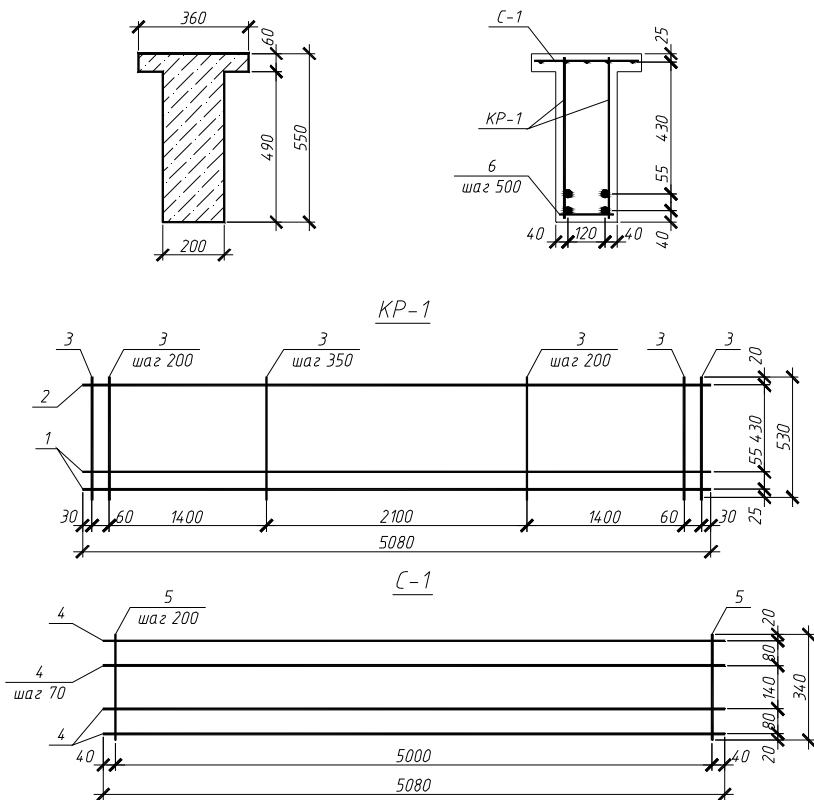


Рис. 3.2. Конструирование элемента (к примеру расчета 1).

Таблица 3.2

Спецификация железобетонного элемента

Поз	Обозначение	Наименование	Кол	Примечание
		<u>Сборочные единицы</u>		
		<u>Каркасы плоские</u>		
КР-1		КР-1	2	
		<u>Сетки арматурные</u>		
С-1		С-1	1	
		<u>Детали</u>		
6	ГОСТ 5781-82*	Φ8 А240 l=140	11	0,055
		<u>Материалы</u>		
		Бетон тяжелый кл В40		0,61м <sup>3</sup>

Таблица 3.3

Спецификация арматурных изделий

Марка изделия	Поз.	Наименование	Кол.	Масса 1 дет., кг	Масса изд., кг
КР-1	1	φ25 А400 l=5080	2	19,51	45,834
	2	φ8 А400 l=5080	1	2,007	
	3	φ8 А240 l=530	23	0,209	
С-1	4	φ4 В500 l=5080	5	0,467	3,141
	5	φ4 В500 l=340	26	0,031	

Таблица 3.4

Ведомость расхода стали, кг

Марка элемента	Изделия арматурные							
	Арматура класса							Всего
	В500		А240		А400			
	ГОСТ 6727-82*		ГОСТ 5781-82*		ГОСТ 5781-82*			
	φ4	Итого	φ8	Итого	φ25	-	Итого	
Р-1	3,141	3,141	10,219	10,219	78,04		78,04	

**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:  $b = 300\text{мм}$ ,  $h = 600\text{мм}$ ,  $b'_f = 600\text{мм}$ ,  $h'_f = 100\text{мм}$ ,  $a = 38\text{мм}$ .

Пролет элемента 6 м. Характеристики бетона и арматуры: бетон тяжелый, класса В15,  $R_b = 8,5\text{МПа}$ .

Продольная рабочая арматура класса А400,  $R_s = 355\text{МПа}$ . Изгибающий момент с учетом только длительных нагрузок  $M = 151\text{кНм}$ . Тогда с учетом коэффициента  $g_{b1} = 0,9$ , принимаемого по п. 2.8,  $R_b = 0,9 \cdot 8,5 = 7,65\text{МПа}$ .

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.  $b'_f = 600\text{мм}$  - по заданию.

8.  $M = 151\text{кНм} < 7,65 \cdot 600 \cdot 100(562 - 0,5 \cdot 100) = 235,01 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 235,01\text{кНм}$  - граница сжатой зоны проходит в полке.

Блок-схема 2.1 п. 6.  $a_m = \frac{151 \cdot 10^6}{7,65 \cdot 600 \cdot 562^2} = 0,104$ .

Б.с. 2.1 п. 7.  $a_m = 0,104 < a_R = 0,39$  - сжатая арматура не требуется.

Б.с. 2.1 10.  $x = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,104}) = 0,11$ .

Б.с. 2.1 11  $A_s = \frac{7,65 \cdot 600 \cdot 562 \cdot 0,11}{355} = 799,31\text{мм}^2$ . Принимаем 4 Ø 16

$A_s = 804\text{мм}^2$ ,  $\Delta = \frac{804 - 799,31}{799,31} 100\% = 0,6\%$ .

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 Ø 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	$g_{b1}$	$h_0$ , мм	$a_m$	$x$	$A_s$ , мм <sup>2</sup>	$A'_s$ , мм <sup>2</sup>
Значение	7,65	0,9	562	0,128	0,37	796,4	-

16. Конец.

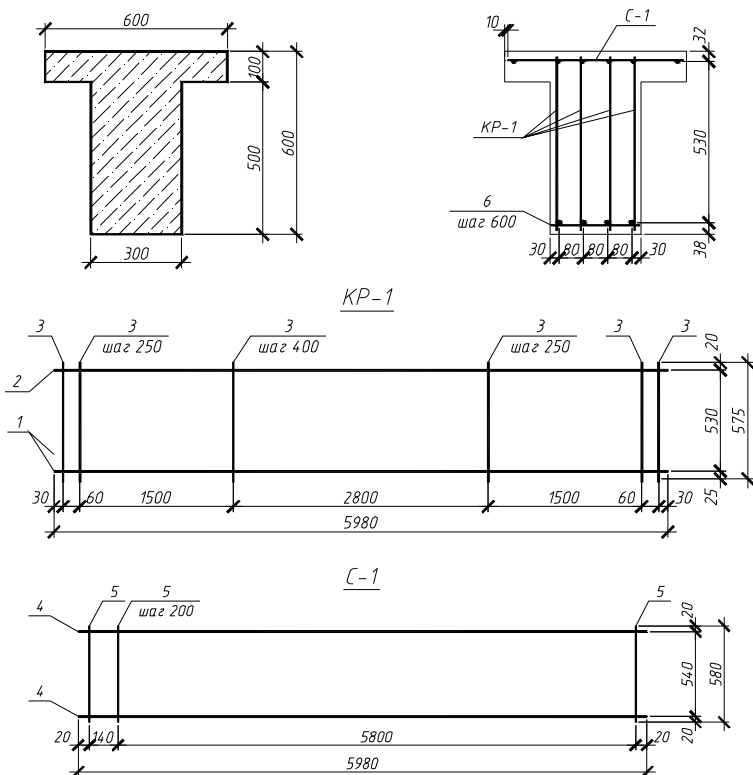


Рис. 3.3. Конструирование элемента (к примеру расчета 2)

Таблица 3.5

Спецификация железобетонного элемента

Поз	Обозначение	Наименование	Кол	Примечание
		<u>Сборочные единицы</u>		
		<u>Каркасы плоские</u>		
KP-1		KP-1	4	
		<u>Сетки арматурные</u>		
C-1		C-1	1	
		<u>Детали</u>		
6	ГОСТ 6727-82*	φ 4 В500 l=280	11	0,026
		<u>Материалы</u>		
		Бетон тяжелый кл.В15		1,26м <sup>3</sup>

Таблица 3.6

Спецификация арматурных изделий

Марка изделия	Поз.	Наименование	Кол.	Масса 1 дет., кг	Масса изд., кг
КР-1	1	φ16 А400 l=5980	1	9,44	11156
	2	φ4 В500 l=5980	1	0,55	
	3	φ4 В500 l=575	22	0,053	
С-1	4	φ4 В500 l=5980	2	0,55	27554
	5	φ4 В500 l=580	31	0,0534	

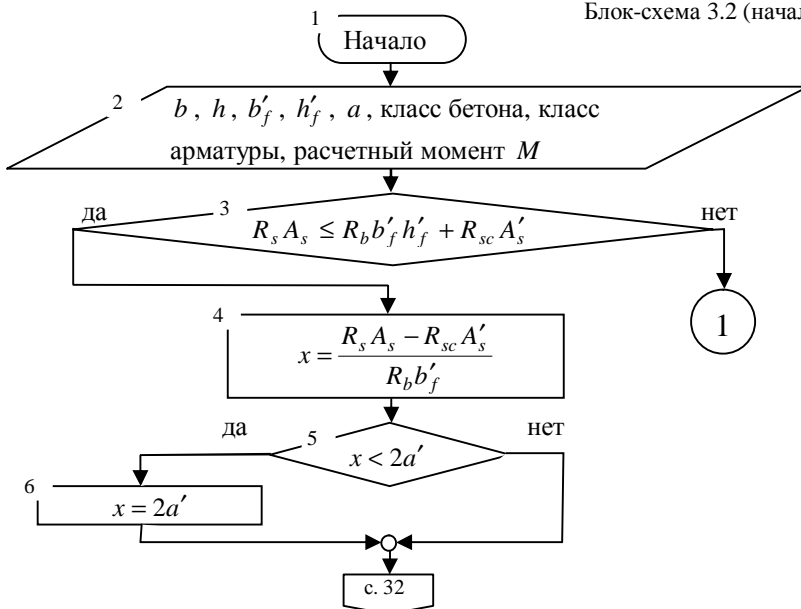
Таблица 3.7

Ведомость расхода стали, кг

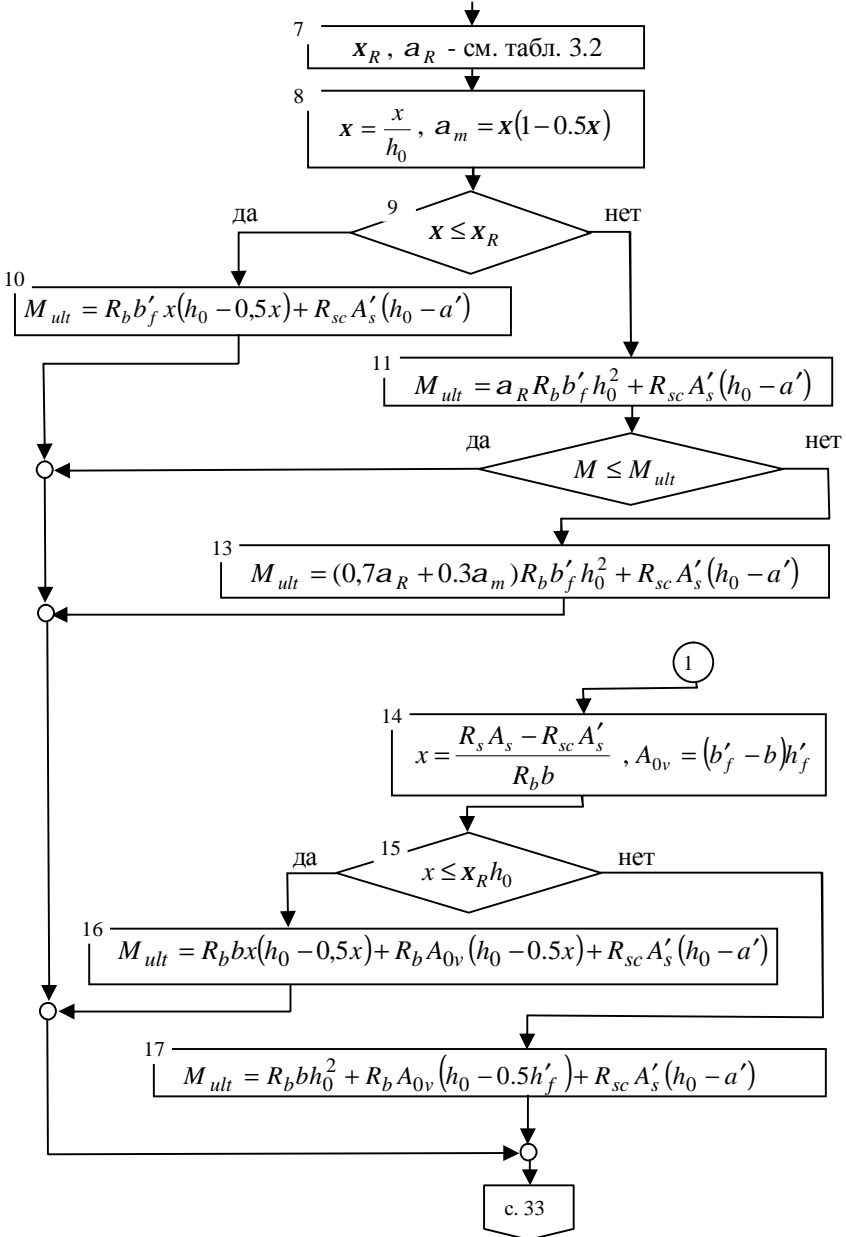
Марка элемента	Изделия арматурные							Всего
	Арматура класса							
	В500			А400				
	ГОСТ 6727-82*			ГОСТ 5781-82*				
	φ4	-	Итого	φ16	-	Итого		
Р-1	9,905	-	9,905	37,76	-	37,76	47,665	

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

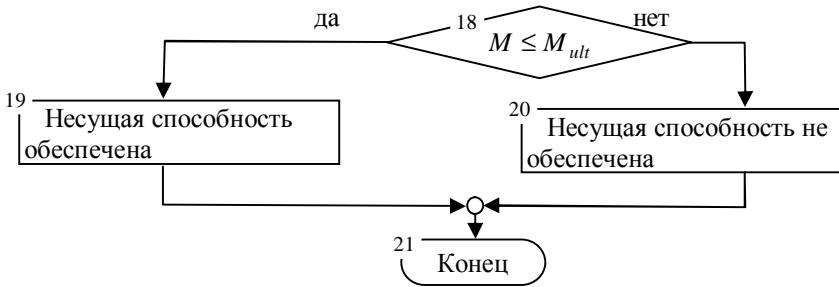
Блок-схема 3.2 (начало)



Блок-схема 3.2 (продолжение)







**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:  $b = 300\text{мм}$ ,  $h = 500\text{мм}$ ,  $b'_f = 600\text{мм}$ ,  $h'_f = 100\text{мм}$ ,  $a = a' = 38\text{мм}$ . Бетон тяжелый, класса В25,  $R_b = 14,5\text{МПа}$ . Продольная растянутая арматура класса А400 поз. 1 рис. 3.4,  $R_s = 355\text{МПа}$ , 4 Ø 16  $A_s = 804\text{мм}^2$ . Продольная сжатая арматура класса А400 поз. 2 рис. 3.4,  $R_{cs} = 355\text{МПа}$ , 4 Ø 4  $A'_s = 251\text{мм}^2$ . Изгибающий момент  $M = 150\text{кНм}$ .  $h_0 = 500 - 38 = 462\text{мм}$ .

3.  $355 \cdot 804 = 285420\text{ Н} < 14,5 \cdot 600 \cdot 100 + 355 \cdot 251 = 959105\text{ Н}$  - граница сжатой зоны проходит в полке.

4.  $x = \frac{355 \cdot 804 - 355 \cdot 251}{14,5 \cdot 600} = 22,56\text{мм}$ .

5.  $x = 22,56\text{мм} < 2a' = 76\text{мм}$ .

6.  $x = 2a' = 76\text{мм}$ .

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

8.  $x = \frac{76}{462} = 0,165$ .

9.  $x = 0,165 < x_R = 0,531$ .

10.  $M_{ult} = 14,5 \cdot 600 \cdot 76(462 - 0,5 \cdot 76) + 355 \cdot 251(462 - 38) = 318,13 \cdot 10^6\text{ Н} \cdot \text{мм} = 318,13\text{кНм}$ .

18.  $M_{ult} = 318,13\text{кНм} > M = 150\text{кНм}$ .

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	$g_b$	$h_0$ , мм	$x$ , мм	$x$	$M_{ult}$ , кНм
Значение	14,5	-	462	76	0,165	318,13

21. Конец.

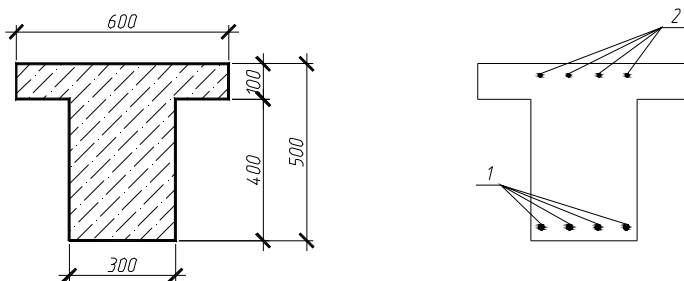


Рис. 3.4. Сечение железобетонного элемента (монтажная и поперечная арматура условно не показаны)

**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	$M_1$ , кНм	$M_2$ , кНм
1	250	600	450	60	B25	A300	112,0	130
2	200	500	400	60	B20	A400	98,0	115
3	300	550	450	80	B35	A300	64,4	75
4	200	400	550	50	B15	A400	89,7	103
5	200	500	500	50	B25	A300	61,5	68
6	250	400	600	100	B20	A400	93,5	100
7	200	350	450	60	B15	A300	71,8	79
8	200	300	500	70	B15	A400	76,2	83
9	250	600	550	60	B25	A300	115,1	120
10	200	500	450	50	B20	A400	64,2	70
11	200	500	450	60	B35	A300	62,3	70
12	250	450	500	50	B15	A400	84,1	90
13	250	600	600	60	B25	A300	114,1	125
14	200	300	450	70	B20	A400	100	110
15	200	400	500	50	B35	A300	96,5	103
16	250	600	450	60	B15	A400	143,9	150
17	200	450	500	50	B25	A300	56,0	63
18	200	500	500	80	B20	A400	65,0	73
19	200	300	500	50	B35	A300	36,0	42
20	250	550	450	60	B30	A400	83,1	90
21	250	300	500	70	B25	A300	76,0	84
22	200	400	550	50	B15	A400	91,1	105
23	200	500	450	50	B35	A300	50,9	60
24	300	550	600	100	B25	A400	179,3	190
25	250	550	600	80	B25	A300	104,0	110

## 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 № 4, 5, а также ответить на контрольные вопросы.

Таблица 4.1

### *Контрольные вопросы.*

1. Как записывается 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. Как записывается 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).

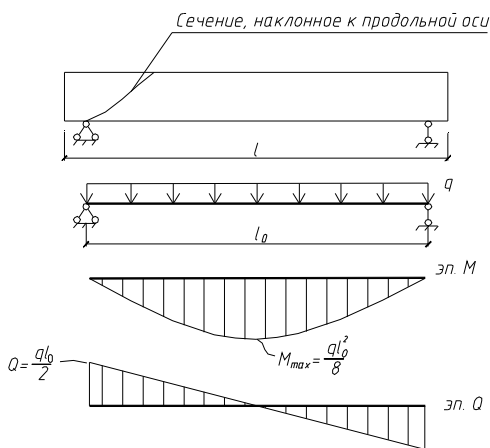


Рис. 4.1. Изгибаемый элемент.

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.

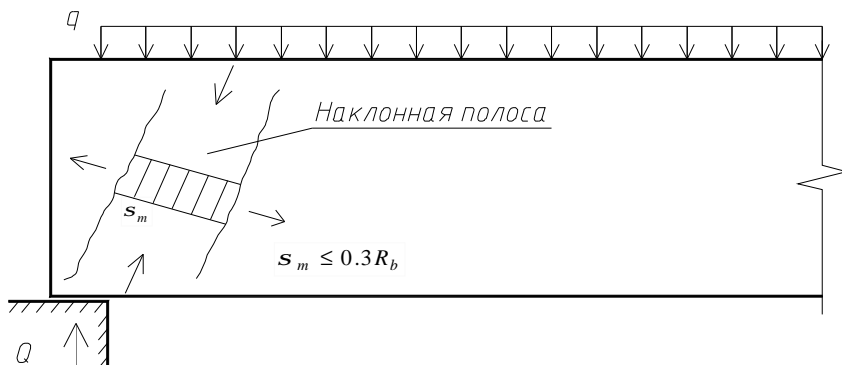
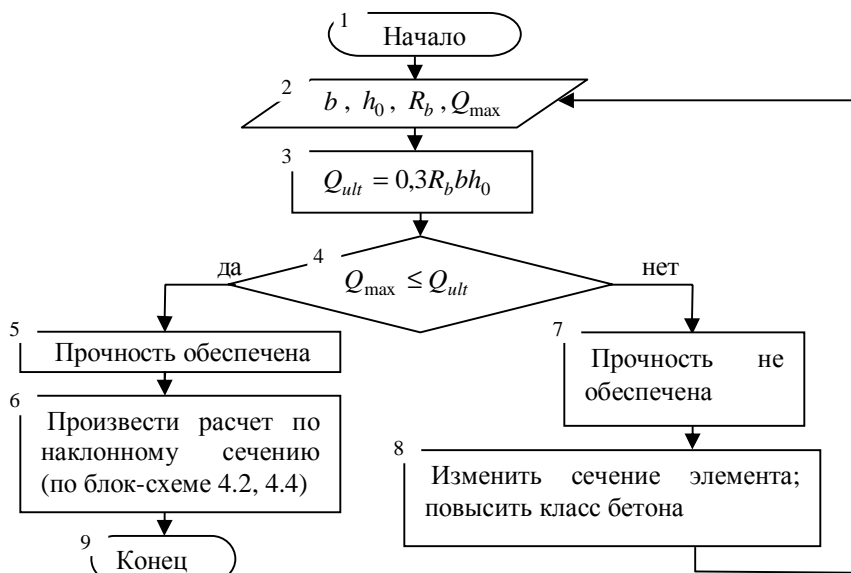


Рис. 4.2. Схема усилий в наклонной полосе

- 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. Геометрические размеры изгибаемого железобетонного элемента:  $b = 250\text{мм}$ ,  $h = 550\text{мм}$ ,  $a = 35\text{мм}$ ,  $a' = 30\text{мм}$ ,  $h_0 = 550 - 35 = 515\text{мм}$  (рис.2.6). Опирание элемента – шарнирное. Пролет элемента  $l = 6\text{м}$ .

Характеристики бетона и арматуры (по прил. 1 табл. 1, 2). Бетон тяжелый, класса В20,  $R_b = 11,5\text{МПа}$ ,  $R_{bt} = 0,9\text{МПа}$ .

Поперечная арматура класса А240  $R_{sw} = 170\text{МПа}$  диаметром 8 мм площадью  $A_{sw} = 151\text{мм}^2$  установлена с шагом  $s_w = 250\text{мм}$ .

Изгибающий момент в пролете равен  $M = \frac{ql^2}{8}$ ,  $M = 213\text{кНм}$ . Тогда распределенная нагрузка  $q$  будет равна:  $q = \frac{8M}{l^2}$ ,  $q = \frac{8 \cdot 213}{6^2} = 47,33\text{кН/м}$ .

Значение перерезывающей силы на опоре будет равно:  $Q_{\max} = \frac{ql}{2}$ ,

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

3.  $Q_{ult} = 0,3 \cdot 11,5 \cdot 250 \cdot 515 = 444,19 \cdot 10^3 \text{ H} = 444,19 \text{ кН}$  .

4.  $Q_{ult} = 444,19 \text{ кН} > Q_{\max} = 142 \text{ кН}$  .

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.

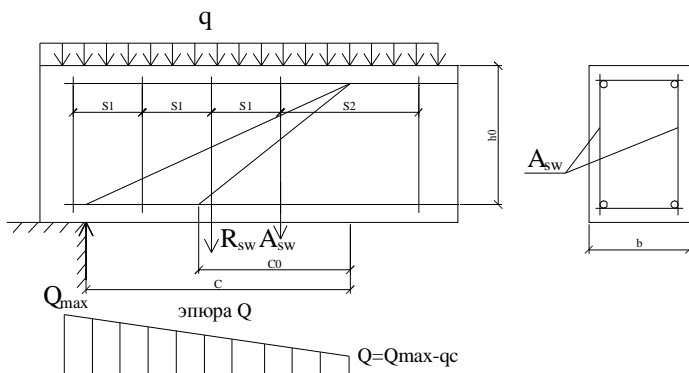
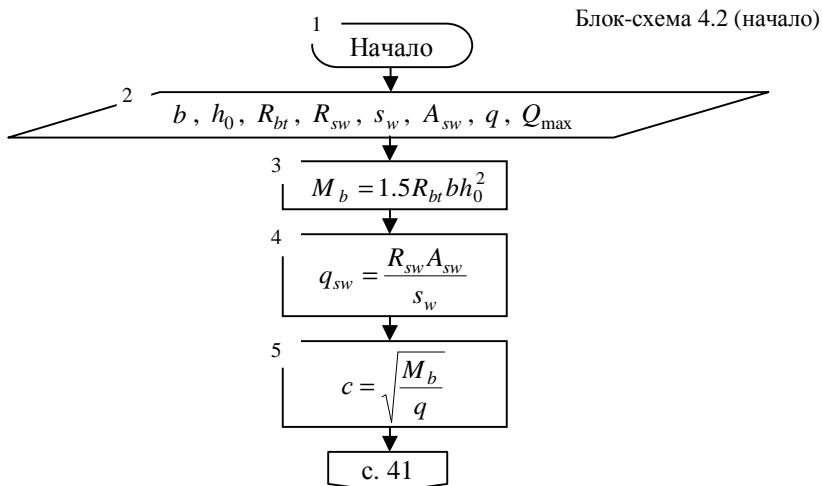
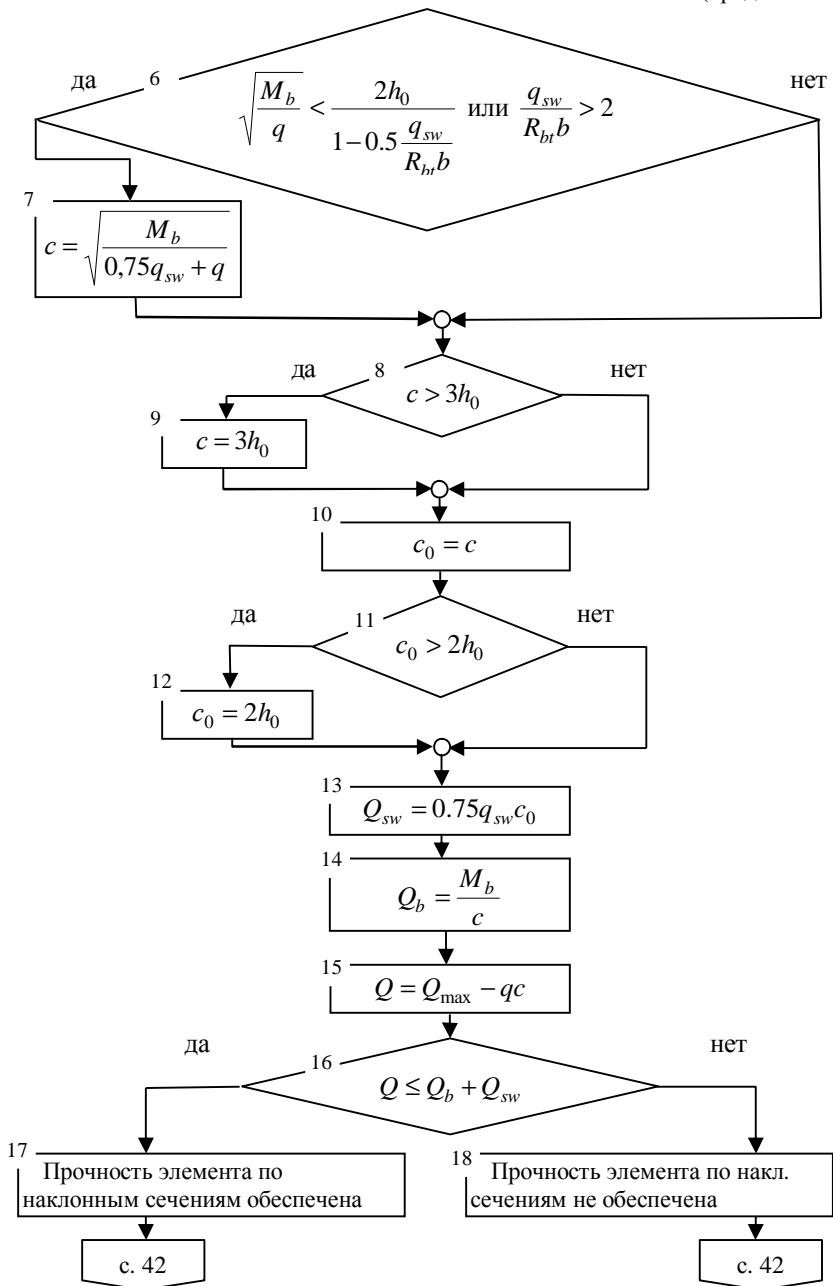
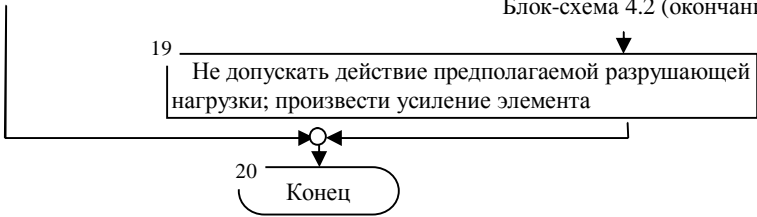


Рис. 4.3. Схема усилий в сечении, наклонном к продольной оси элемента









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

1. Начало.

2. Исходные данные см. пример расчета 1.

$$3. M_b = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 250 \cdot 515^2 = 89513437,5 \text{ Нмм} .$$

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

$$5. c = \sqrt{\frac{89513437,5}{47,33}} = 1375,23 \text{ мм} .$$

$$6. 1375,23 \text{ мм} > \frac{2 \cdot 515}{1 - 0,5 \frac{102,68}{0,9 \cdot 250}} = 1334,5 \text{ мм} , \quad \frac{102,68}{0,9 \cdot 250} = 0,46 < 2 -$$

значение  $c$  не корректируем.

$$8. c = 1375,23 \text{ мм} < 3h_0 = 1545 \text{ мм} .$$

$$10. c_0 = c = 1375,23 \text{ мм} .$$

$$11. c_0 = 1375,23 \text{ мм} > 2h_0 = 1030 \text{ мм} .$$

$$12. \text{Принимаем } c_0 = 2h_0 = 1030 \text{ мм} .$$

$$13. Q_{sw} = 0,75 \cdot 102,68 \cdot 1030 = 79,32 \cdot 10^3 \text{ Н} = 79,32 \text{ кН} .$$

$$14. Q_b = \frac{89513437,5}{1375,23} = 65,09 \cdot 10^3 \text{ Н} = 65,09 \text{ кН} .$$

$$15. Q = 142 - 47,33 \cdot 1375,23 / 1000 = 76,91 \text{ кН} .$$

$$16. Q = 76,91 \text{ кН} < 65,09 + 79,32 = 144,41 \text{ кН} .$$

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

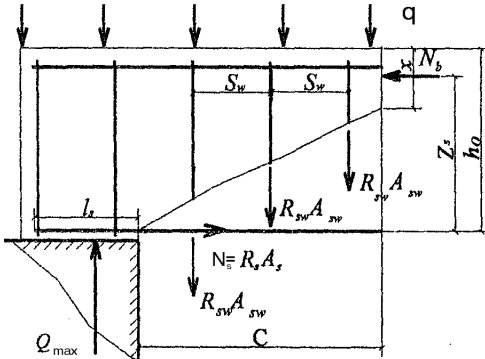
Контролируемый параметр	$R_{bt}$ , МПа	$M_b$ , кНм	$h_0$ , мм	$c$ , мм	$c_0$ , мм	$Q_{sw}$ , кН	$Q_b$ , кН
Значение	0,9	89,51	515	1375,23	1030	79,32	65,09

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.

а)



б)

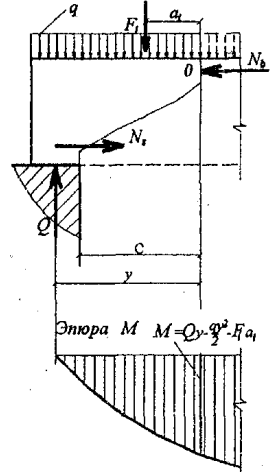
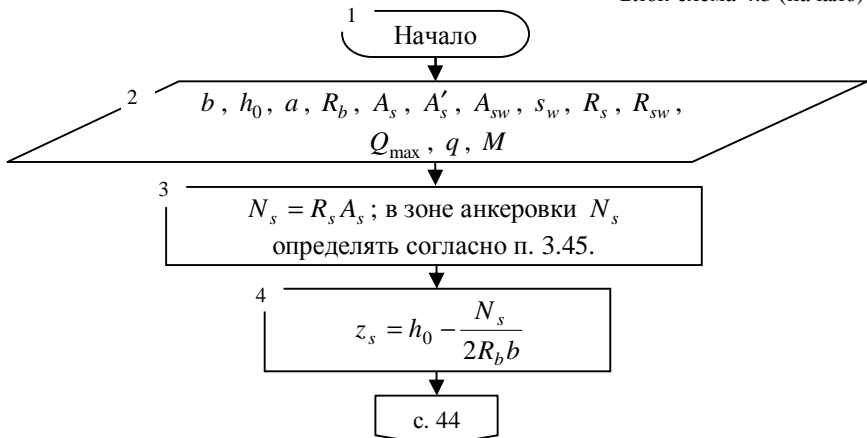


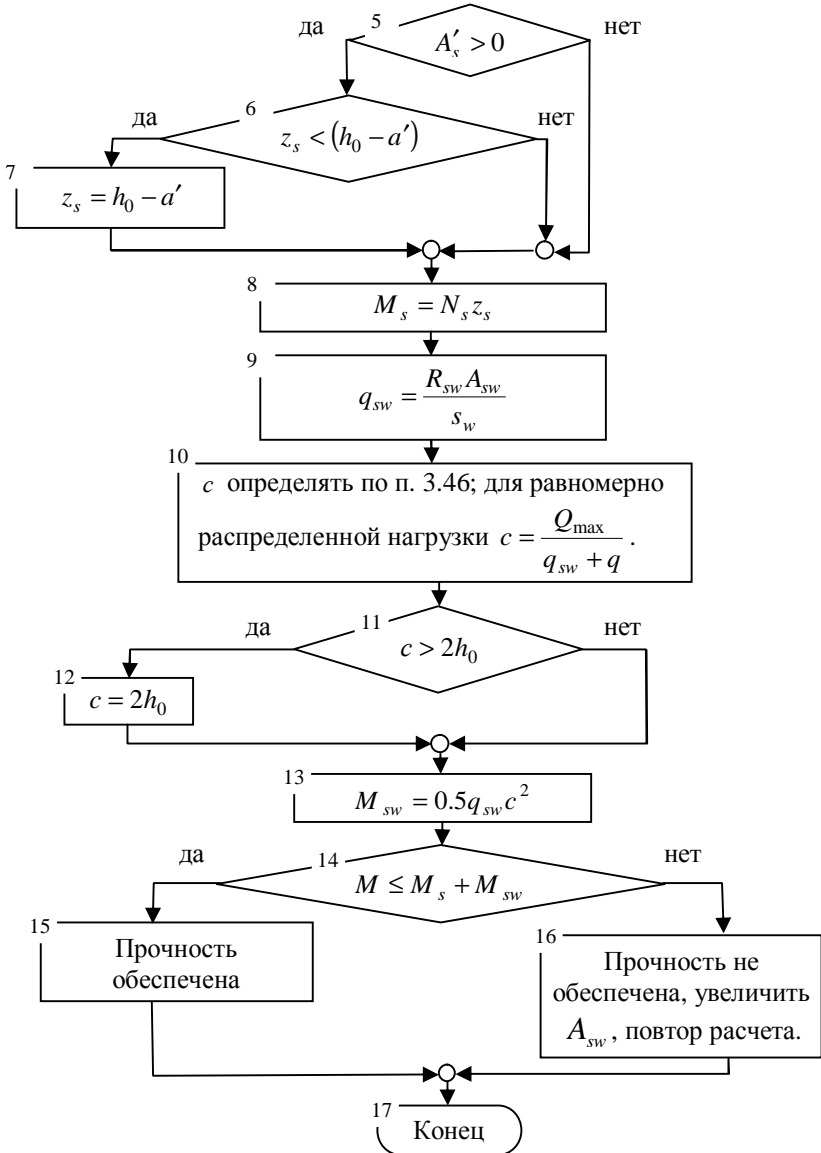
Рис. 4.4. а - схема усилий в наклонном сечении при расчете его по изгибающему моменту, б - определение расчетного значения момента при расчете наклонного сечения для свободно опертой балки

- **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.

Продольная растянутая арматура 3 Ø 25 класса А400,  $R_s = 355 \text{ МПа}$ ,  $A_s = 1473 \text{ мм}^2$ . Продольная сжатая арматура 3 Ø 8 класса А400,  $R_{sc} = 355 \text{ МПа}$ ,  $A'_s = 151 \text{ мм}^2$ .

3.  $N_s = 355 \cdot 1473 = 522915 \text{ Н}$ .

4.  $z_s = 515 - \frac{522915}{2 \cdot 11,5 \cdot 250} = 424,06 \text{ мм}$ .

5.  $A'_s > 0$ .

6.  $z_s = 424,06 \text{ мм} < (515 - 30) = 485 \text{ мм}$ .

7.  $z_s = 515 - 30 = 485 \text{ мм}$ .

8.  $M_s = 522915 \cdot 485 = 253,61 \cdot 10^6 \text{ Нмм} = 253,61 \text{ кНм}$ .

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.  $c = 946,6 \text{ мм} < 2h_0 = 2 \cdot 515 = 1030 \text{ мм}$ .

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

14.  $M = 213 \text{ кНм} < 253,61 + 46 = 299,61 \text{ кНм}$

15. Прочность сечения по изгибающему моменту обеспечена.

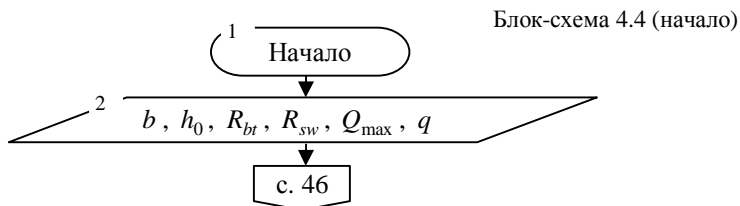
Пример заполнения контрольного талона проверки задачи:

Фамилия студента: Иванов группа: 03-401 Преподаватель: Седов  
 Вариант задания: 1

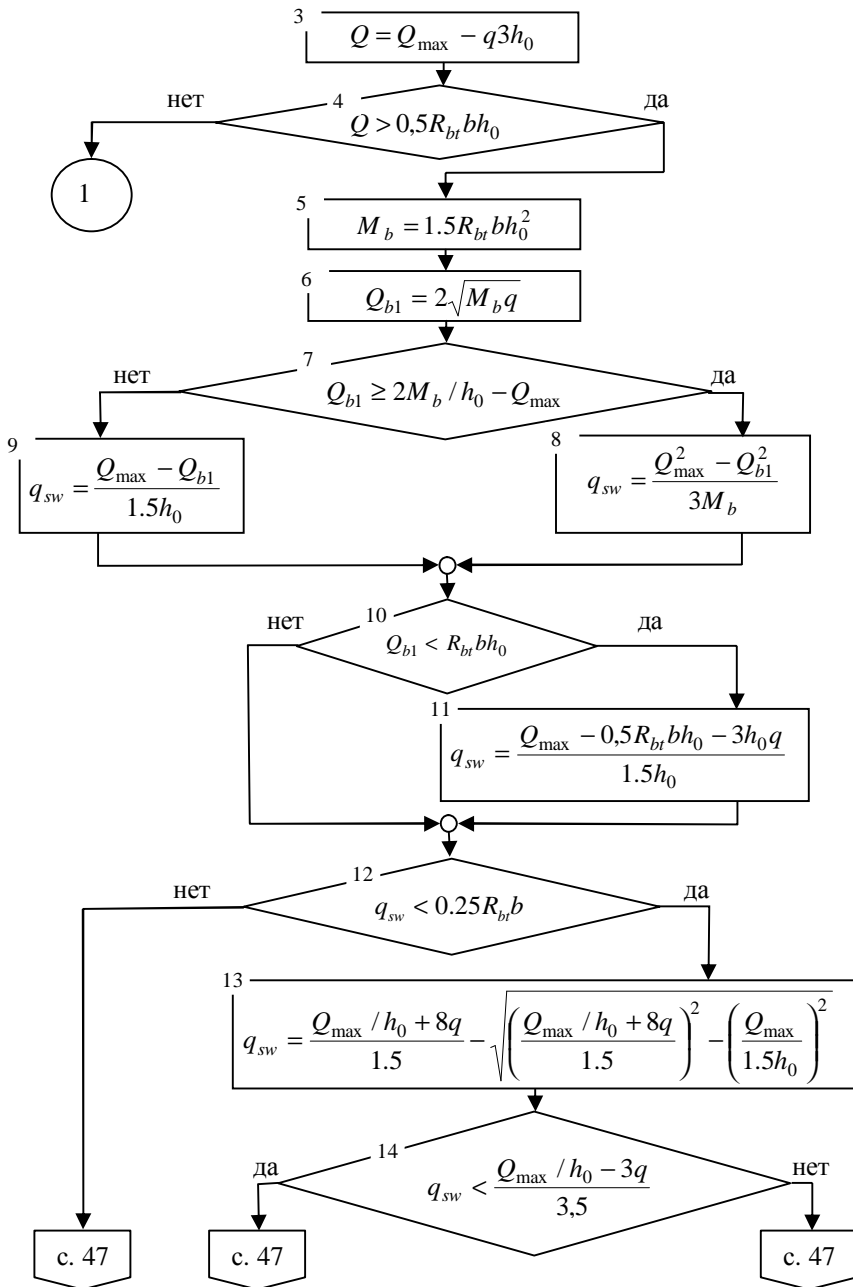
Контролируемый параметр	$R_b$ , МПа	$z_s$ , мм	$M_s$ , кНм	$q_{sw}$ , Н/мм	$c$ , мм	$M_{sw}$ , кНм
Значение	11,5	485	253,61	102,68	946,6	46

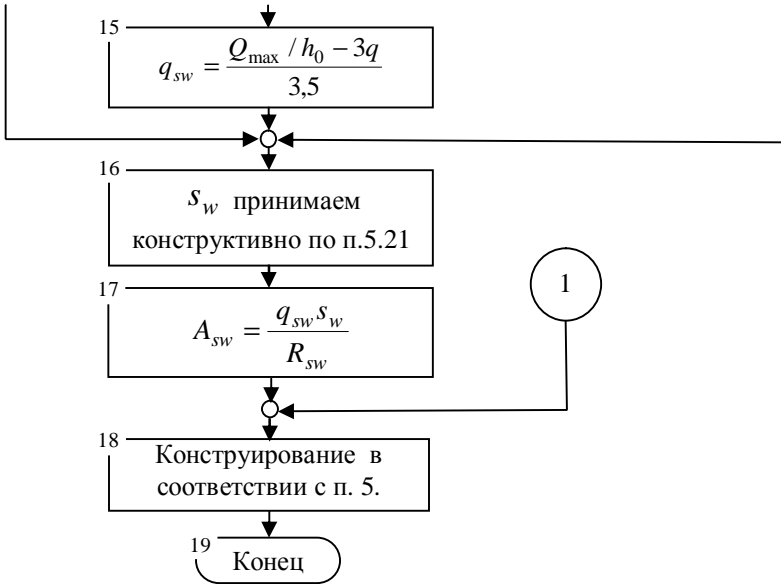
17. Конец.

- **Последовательность подбора поперечной арматуры представлена в блок-схеме 4.4.**



Блок-схема 4.4 (продолжение)





#### Пример расчета 4.

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

1. Начало.

2. Геометрические размеры изгибаемого железобетонного элемента:  $b = 200\text{мм}$ ,  $h = 450\text{мм}$ ,  $a = 35\text{мм}$ ,  $a' = 30\text{мм}$ .  $h_0 = 450 - 35 = 415\text{мм}$ . Пролет элемента 6 м.

Характеристики бетона и арматуры. Бетон тяжелый, класса В25,  $R_b = 14,5\text{МПа}$ ,  $R_{bt} = 1,05\text{МПа}$ . Продольные стержни из арматуры класса А400  $R_s = 355\text{МПа}$  ( $A_s = 603\text{мм}^2$  3 Ø 16,  $A'_s = 151\text{мм}^2$  3 Ø 8). Поперечную арматуру принимать класса В500,  $R_{sw} = 300\text{МПа}$ .

Поперечная сила на опоре  $Q_{max} = 170\text{кН}$ , равномерно распределенная нагрузка  $q = 39\text{кН/м}$ .

3.  $Q = 170 \cdot 1000 - 39 \cdot 3 \cdot 415 = 121,45\text{кН}$ .

4.  $Q = 121,45\text{кН} > 0,5 \cdot 1,05 \cdot 200 \cdot 415 = 43575\text{Н} = 43,575\text{кН}$  - требуется установка поперечной арматуры по расчету.

5.  $M_b = 1,5 \cdot 1,05 \cdot 200 \cdot 415^2 = 54250875\text{Нмм}$ .

6.  $Q_{b1} = 2\sqrt{5425087 \cdot 39} = 92 \cdot 10^3\text{Н} = 92\text{кН}$ .

$$7. Q_{b1} = 92 \text{ кН} > 2 \cdot 54250875 / 415 - 170 \cdot 10^3 = 91,45 \cdot 10^3 \text{ Н} = 91,45 \text{ кН}.$$

$$8. q_{sw} = \frac{(170 \cdot 10^3)^2 - (121,48 \cdot 10^3)^2}{3 \cdot 5425087} = 125,56 \text{ Н / мм} = 125,56 \text{ кН / м}.$$

$$10. Q_{b1} = 92 > 1,05 \cdot 200 \cdot 415 = 87,15 \cdot 10^3 \text{ Н} = 87,15 \text{ кН}.$$

$$12. q_{sw} = 125,56 \text{ Н / мм} > 0,25 \cdot 1,05 \cdot 200 = 52,5 \text{ Н / мм}.$$

16. Принимаем шаг стержней поперечной арматуры  $s = 200 \text{ мм}$  (не более  $0,5h_0 = 0,5 \cdot 415 = 207,5 \text{ мм}$ ).

$$17. A_{sw} = \frac{125,56 \cdot 200}{300} = 83,71 \text{ мм}^2, \text{ принимаем } 3 \text{ } \emptyset 6 \text{ } A_{sw} = 85 \text{ мм}^2$$

класса В500,  $\Delta = \frac{85 - 83,71}{83,71} 100\% = 1,5\%$ .

18. Конструирование элемента см. рис. 4.5 и 4.6.

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	$s$ , мм	$A_{sw}$ , мм <sup>2</sup>
Значение	1,05	54,25	415	92	125,56	200	83,71

19. Конец.

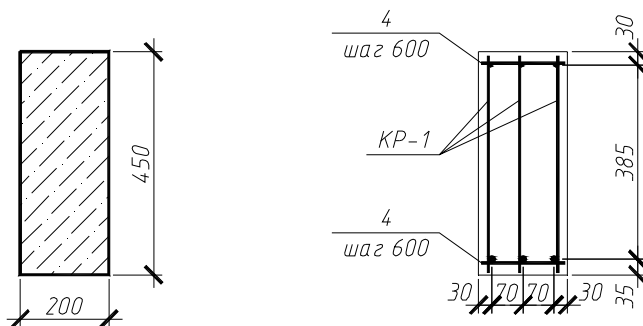


Рис. 4.5. Конструирование элемента (к примеру расчета 4)



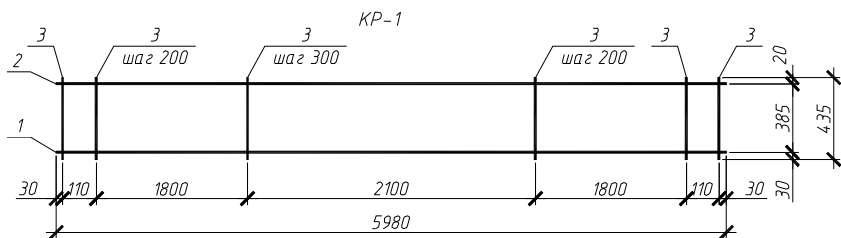


Рис. 4.6. Плоский каркас КР-1 (к примеру расчета 4)

Таблица 4.2

Спецификация сборного ригеля Р-1

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		<i>Сборочные единицы</i>		
		<i>Каркасы плоские</i>		
КР-1		КР-1	3	
		<i>Детали</i>		
4	ГОСТ 5781-82*	φ8 А240 l=190	11	0,075
		<i>Материалы</i>		
		Бетон тяжелый кл.В25		0,54м <sup>3</sup>

Таблица 4.3

Спецификация арматурных изделий

Марка изделия	Поз.	Наименование	Кол.	Масса 1 дет., кг	Масса изд., кг
КР-1	1	φ16 А400 l=5980	1	9,436	14 708
	2	φ8 А400 l=5980	1	2,362	
	3	φ6 В500 l=435	30	0,097	

Таблица 4.4

Ведомость расхода стали, кг

Марка элемента	Изделия арматурные							Всего
	Арматура класса							
	В500		А240		А400			
	ГОСТ 6727-82*		ГОСТ 5781-82*		ГОСТ 5781-82*			
	φ6	Итого	φ8	Итого	φ8	φ16	Итого	
Р-1	8,73	8,73	0,825	0,825	7,086	28,308	35,394	44,949

**Индивидуальные задания для решения задачи подбора поперечной арматуры\* и проверки прочности на действие поперечной силы и изгибающего момента ( $Q_{\max}$  – для подбора арматуры,  $Q_1$  – для проверки прочности,  $M$  – для расчета на действие изгибающего момента).**

Таблица 4.5

Варианты заданий

№	$b$ , мм	$h$ , мм	Класс бетона	Класс продольной арматуры	$Q_{\max}$ , кН	$Q_1$ , кН	$q$ , кН/м	$A_s$ , мм <sup>2</sup>	$M$ , кНм
1	300	650	B20	A300	250	260	35	804	208,3
2	300	600	B25	A400	226	230	20	942	262,8
3	250	500	B30	A300	205	210	25	760	202,4
4	200	400	B15	A400	210	200	30	804	52,3
5	250	550	B20	A300	220	225	35	402	104,5
6	200	450	B25	A400	250	260	40	616	113,7
7	200	400	B30	A300	230	235	25	452	53,0
8	250	500	B15	A400	260	265	20	628	144,8
9	200	500	B20	A300	200	213	25	452	154,5
10	300	700	B25	A400	280	290	30	804	240,3
11	300	650	B30	A300	220	230	35	509	475,5
12	200	550	B15	A400	203	197	40	982	156,3
13	300	600	B20	A300	195	211	25	616	265,9
14	200	450	B25	A400	180	186	20	402	119,5
15	250	550	B30	A300	200	206	25	763	118,9
16	250	600	B15	A400	225	234	30	942	200,4
17	200	550	B20	A300	256	265	35	509	150,9
18	200	450	B25	A400	180	190	40	804	114,7
19	200	500	B30	A300	200	210	25	402	102,0
20	300	700	B15	A400	240	245	20	804	349,1
21	250	600	B20	A300	220	230	25	616	244,0
22	200	400	B25	A400	166	170	30	452	168,1
23	250	500	B30	A300	186	190	35	616	180,9
24	300	600	B15	A400	207	210	30	763	204,3
25	250	400	B20	A300	190	195	25	509	176,4

\*Класс поперечной арматуры принимать B500 при диаметре стержней до 6 мм, и A240 для диаметра 6 мм и более.

## 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 лекции 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 длительных 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) $I_{red} = I_b + I_s + I'_s$ . б) $I_{red} = I_b + aI_s + I'_s$ . в) $I_{red} = I_b + aI_s + aI'_s$ .
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 $I$ на $I_{red}$ .
6. Укажите условие образования трещин.	а) $M_{crc} < M$ . б) $M_{crc} \geq M$ . 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) $\sigma_s = \frac{M}{z_s A_s}$ · б) $\sigma_s = \frac{M}{h_0 (A_s + A'_s)}$ · в) $\sigma_s = \frac{M}{0.9 z_s A_s}$ ·

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

Необходимость расчета по раскрытию трещин определяется из условия:

$$M > M_{crc},$$

где  $M$  - изгибающий момент от действия нормативных нагрузок относительно оси, нормальной к плоскости действия момента и проходящей центр тяжести приведенного поперечного сечения;

$M_{crc}$  - момент образования трещин.

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

$$M_{crc} = R_{bt,ser} W_{red},$$

где  $W_{red}$  - момент сопротивления приведенного сечения для крайнего растянутого волокна бетона.

Для прямоугольных, тавровых и двутавровых сечений при действии момента в плоскости оси симметрии для определения момента образования трещин с учетом неупругих деформаций растянутого бетона допускается заменять значение  $W_{red}$  на  $W_{pl} = W_{red} g$ , где  $g$  см. табл. 4.1 или табл.4 прил. 2.

Расчет по раскрытию трещин необходимо производить из условия:

$$a_{crc} \leq a_{crc,ult},$$

где  $a_{crc}$  - ширина раскрытия нормальных трещин;

$a_{crc,ult}$  - предельно допустимая ширина раскрытия трещин, определяемая по п.4.2 из условия сохранности арматуры или из условия ограничения проницаемости конструкции.

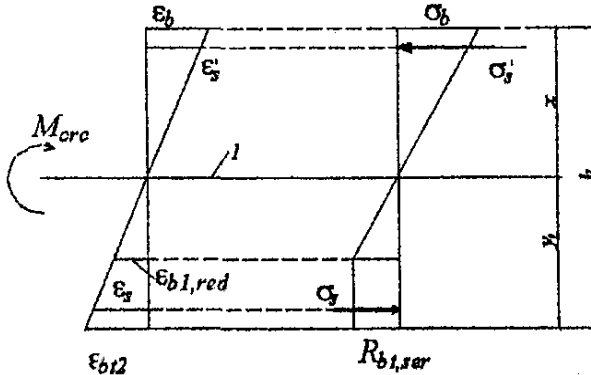


Рис. 5.1. Схема напряженно-деформированного состояния сечения элемента при проверке образования трещин при действии изгибающего момента. 1 – уровень центра тяжести приведенного сечения.

Здесь:  $\epsilon_{bt2}$  - относительная деформация растянутой грани бетона,  $\epsilon_s$  и  $\epsilon_s'$  - 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 во второй группе предельных состояний.

Ширину раскрытия нормальных трещин определяют по формуле:

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

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;  $\gamma_s$  - коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами;  $j_1, j_2, j_3$  - коэффициенты, определяемые согласно п. 4.10 или прил. 7.

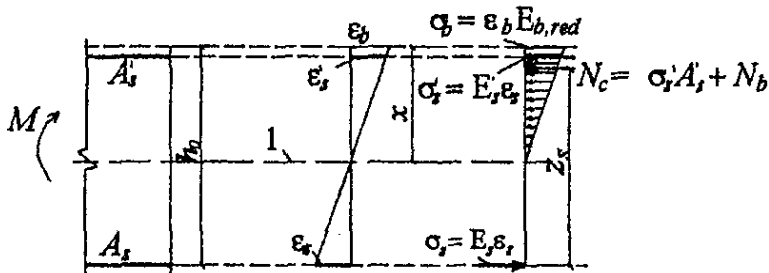


Рис. 5.2. Схема напряженно-деформированного состояния элемента с трещинами при действии изгибающего момента. 1 – уровень центра тяжести приведенного сечения.

Ширину раскрытия трещин принимают равной:

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

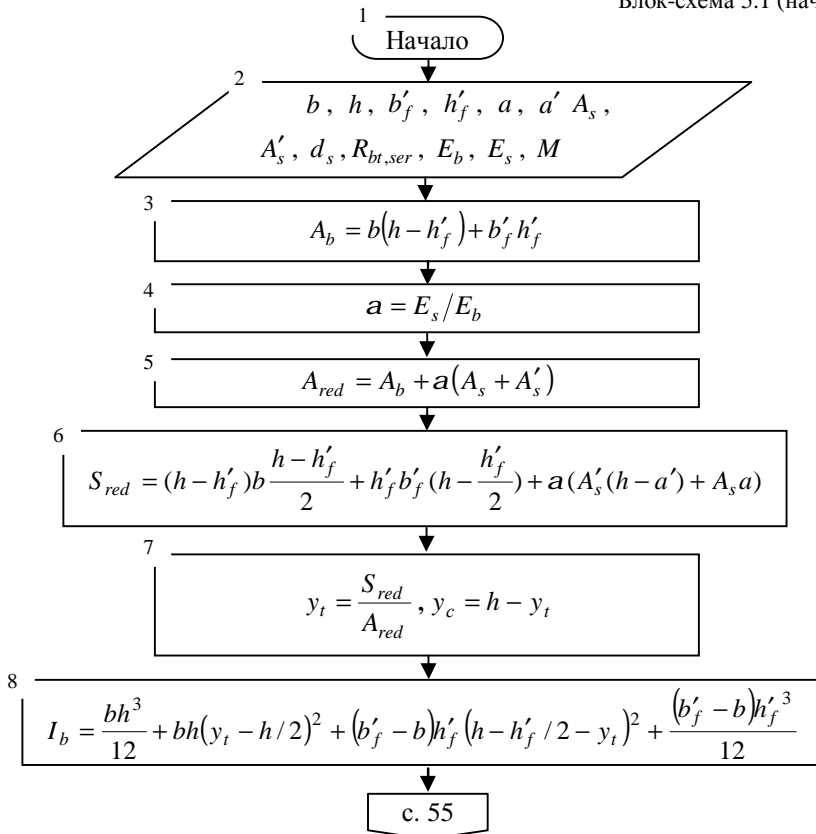
где  $a_{crc,1}$  - ширина раскрытия трещин от продолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок,  $j_1 = 1,4$ ;

$a_{crc,2}$  - ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия всех нагрузок,  $j_1 = 1$ ;

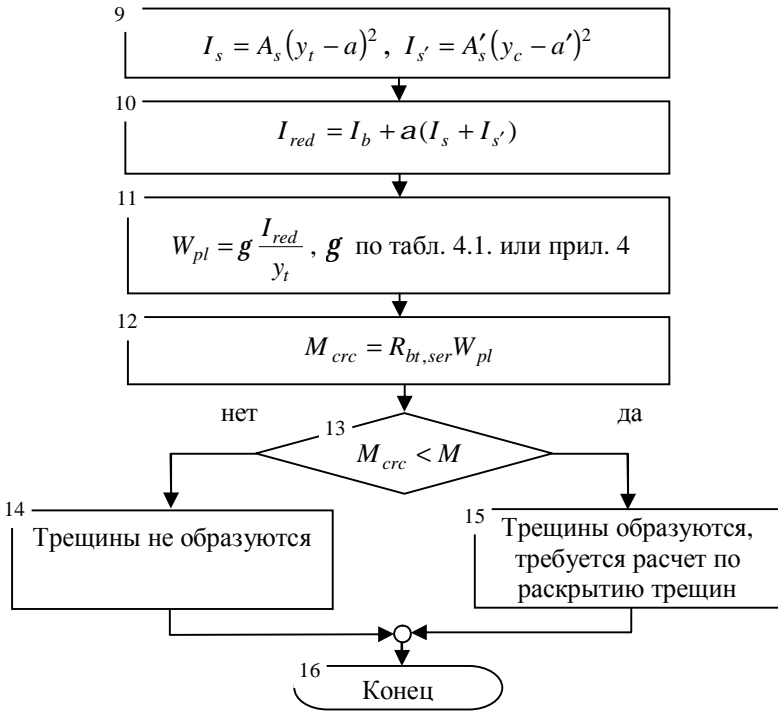
$a_{crc,3}$  - то же, от действия постоянных и временных длительных нагрузок,  $j_1 = 1$ .

Последовательность определения момента трещинообразования от нормативных нагрузок  $M$  с учетом неупругих деформаций растянутого бетона представлена в блок-схеме 5.1:

Блок-схема 5.1 (начало)



Блок-схема 5.1 (окончание)



### Пример расчета 1.

Определить момент трещинообразования для таврового сечения с размерами  $b = 250\text{мм}$ ,  $h = 600\text{мм}$ ,  $b'_f = 600\text{мм}$ ,  $h'_f = 100\text{мм}$ ,  $a = 40\text{мм}$ ,  $a' = 20\text{мм}$ . Класс бетона В20, класс арматуры А400,  $A_s = 804\text{мм}^2$ ,  $d_s = 16\text{мм}$ ,  $A'_s = 251\text{мм}^2$ .

Расчет ведем по блок-схеме 5.1.

1. Начало.
2. Прочностные характеристики бетона и арматуры (прил. 2 табл. 1, 2,
- 3). Для бетона класса В20,  $R_{bt,ser} = 1,35\text{МПа}$ ,  $E_b = 27500\text{МПа}$ . Для арматуры класса А400  $E_s = 200000\text{МПа}$ .

Изгибающий момент от нормативных нагрузок  $M = 100,5\text{кНм}$ , в т.ч. от длительно действующих  $M_l = 85,3\text{кНм}$ .

3.  $A_b = 250 \cdot (600 - 100) + 600 \cdot 100 = 185000\text{мм}^2$ .

4.  $a = 200000 / 27500 = 7,27$ .

5.  $A_{red} = 185000 + 7,27(804 + 251) = 192669,85\text{мм}^2$ .

$$6. S_{red} = (600 - 100)250 \frac{600 - 100}{2} + 100 \cdot 600(600 - \frac{100}{2}) + 7,27(251(600 - 30) + 804 \cdot 40) = 65523922,1 \text{ мм}^3.$$

$$7. y_t = \frac{65523922,1}{192669,85} = 340,08 \text{ мм}, y_c = 600 - 340,08 = 259,92 \text{ мм}.$$

$$8. I_b = \frac{250 \cdot 600^3}{12} + 250 \cdot 600(340,08 - 600/2)^2 + \frac{(600 - 250) \cdot 100^3}{12} + (600 - 250) \cdot 100 \cdot (600 - 100/2 - 340,08)^2 = 631245185 \text{ мм}^4.$$

$$9. I_s = 804 \cdot (340,08 - 40)^2 = 72398597,2 \text{ мм}^4,$$

$$I_s' = 251 \cdot (259,92 - 30)^2 = 13268664,8 \text{ мм}^4.$$

$$10. I_{red} = 631245185 + 7,27(72398597,2 + 13268664,8) = 6935252845 \text{ мм}^4.$$

$$11. W_{pl} = 1,3 \frac{6935252845}{340,08} = 26510905,4 \text{ мм}^3, \text{ по табл. 4 прил. 2 } g = 1,3 -$$

для элемента таврового профиля.

$$12. M_{crc} = 1,35 \cdot 26510905,4 = 35,79 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 35,79 \text{ кНм}.$$

$$13. M_{crc} = 35,79 \text{ кНм} < M = 100,5 \text{ кНм}.$$

15. Трещины образуются, требуется расчет по раскрытию трещин.

Пример заполнения контрольного талона проверки решения задачи:

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

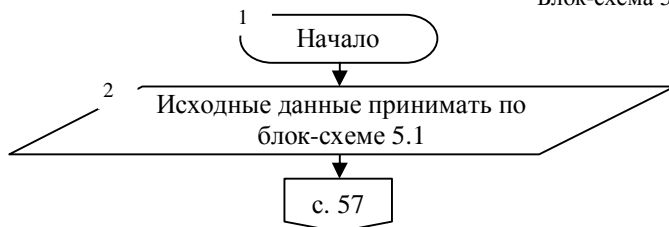
Вариант задания: 1

Контролируемый параметр	$R_{bt,ser}$ , МПа	$A_{red}$ , см <sup>2</sup>	$S_{red}$ , см <sup>3</sup>	$y_t$ , мм	$I_{red}$ , см <sup>4</sup>	$W_{pl}$ , см <sup>3</sup>	$M_{crc}$ , кНм
Значение	1,35	1926,7	65523,92	340,08	693525,29	26510,91	35,79

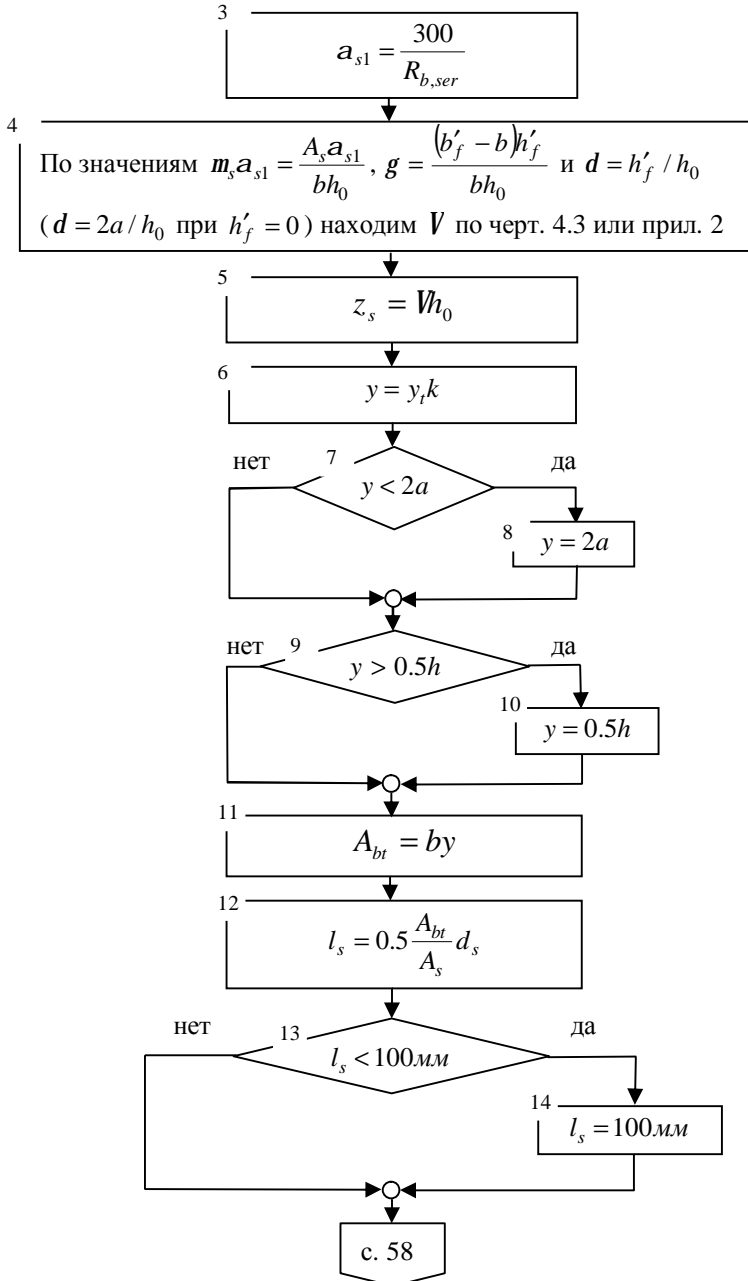
16. Конец.

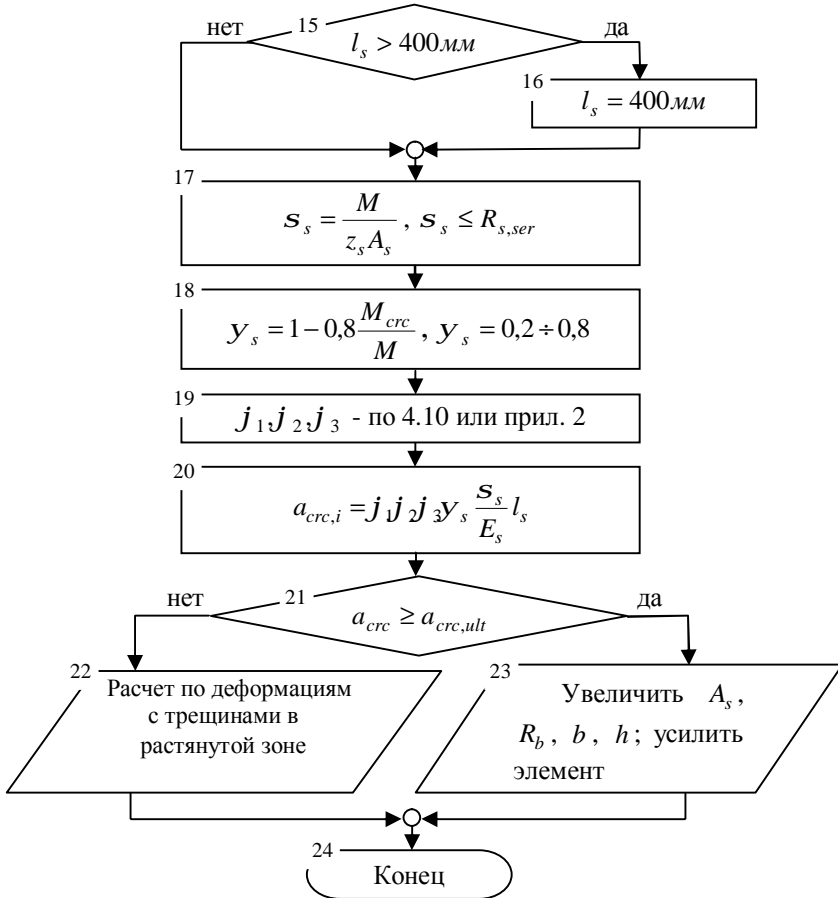
- Последовательность расчета по раскрытию трещин представлена в блок-схеме 5.2:

Блок-схема 5.2 (начало)









**Пример расчета 2.**

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

1. Начало.
2. Исходные данные см. пример расчета №1.

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

4.  $m_s a_{s1} = \frac{804 \cdot 20}{250 \cdot 560} = 0,115$ ,  $g = \frac{(600 - 250)100}{250 \cdot 560} = 0,25$ ,  $d = 100/560 = 0,179$  - по черт. 4.3 или прил. 2 находим  $V = 0,91$ .

5.  $z_s = 0,91 \cdot 560 = 509,6 \text{ мм}$ .

6.  $y = 340,08 \cdot 0,9 = 306,07 \text{ мм}$  .

7.  $y = 306,07 \text{ мм} > 2a = 2 \cdot 40 = 80 \text{ мм}$  .

9.  $y = 306,07 \text{ мм} > 0,5h = 0,5 \cdot 600 = 300 \text{ мм}$  .

10.  $y = 300 \text{ мм}$  .

11.  $A_{bt} = 250 \cdot 300 = 75000 \text{ мм}^2$  .

12.  $l_s = 0,5 \frac{75000}{804} 16 = 746,27 \text{ мм}$  ,  $d_s = 16 \text{ мм}$  - по сортаменту.

13.  $l_s = 746,27 \text{ мм} > 100 \text{ мм}$  .

15.  $l_s = 746,27 \text{ мм} > 400 \text{ мм}$  .

16.  $l_s = 400 \text{ мм}$  .

17.  $s_s = \frac{100,5 \cdot 10^6}{509,6 \cdot 804} = 245,29 \text{ МПа}$  ,  $s_{s,l} = \frac{85,3 \cdot 10^6}{509,6 \cdot 804} = 208,19 \text{ МПа}$  .

18.  $y_s = 1 - 0,8 \frac{35,79}{100,5} = 0,715$  ,  $y_{s,l} = 1 - 0,8 \frac{35,79}{85,3} = 0,664$  .

19.  $j_1 = 1,4$  - при продолжительном действии нагрузки,  $j_1 = 1$  - при непродолжительном действии нагрузки;  $j_2 = 0,5$  - для арматуры класса А400;  $j_3 = 1$  - для изгибаемых элементов.

20.  $a_{crc1} = 1,4 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,664 \frac{208,19}{200000} 400 = 0,194 \text{ мм}$  ,

$a_{crc2} = 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,715 \frac{245,29}{200000} 400 = 0,175 \text{ мм}$  ,

$a_{crc3} = 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,664 \frac{208,19}{200000} 400 = 0,138 \text{ мм}$  .

$a_{crc} = 0,194 + 0,175 - 0,138 = 0,231 \text{ мм}$  .

21.  $[a] = 0,3 \text{ мм}$  - из условия сохранности арматуры при продолжительном раскрытии.  $a_{crc} = 0,231 \text{ мм} < [a] = 0,3 \text{ мм}$  - 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 <sup>2</sup>	$l_s$ , мм	$y_s$	$a_{crc}$ , мм
Значение	0,115	0,91	245,29	75000	400	0,715	0,231

24. Конец

Таблица 5.2

**Индивидуальные задания для расчета железобетонного элемента по образованию и раскрытию трещин.**

№	$b$ , мм	$h$ , мм	$a$ , мм	$b'_f$ , мм	$h'_f$ , мм	Класс бетона	Класс арма- туры	$A_s$ , мм <sup>2</sup>	$A'_s$ , мм <sup>2</sup>	$M$ , кНм	$l$ , м
1	250	600	35	500	60	B25	A300	1256	201	135,0	7,2
2	200	500	30	-	-	B20	A400	628	101	85,0	6,0
3	250	600	35	450	60	B35	A300	760	-	96,4	6,3
4	200	400	30	-	-	B25	A400	942	-	61,7	6,6
5	200	500	35	550	50	B25	A300	616	-	89,0	5,7
6	250	400	30	-	-	B20	A400	942	151	79,1	5,4
7	250	500	35	450	60	B35	A300	982	226	138,8	6,0
8	250	500	30	-	-	B15	A400	942	236	104,2	6,6
9	250	600	35	500	60	B25	A300	1256	113	202,5	5,1
10	200	500	30	-	-	B20	A400	942	-	96,4	5,7
11	200	500	35	450	60	B35	A300	1140	236	153,9	6,3
12	300	600	30	-	-	B15	A400	804	201	122,4	7,2
13	250	600	35	600	60	B25	A300	1256	-	170,6	5,4
14	200	300	30	-	-	B30	A400	1140	236	48,8	4,8
15	200	400	35	600	50	B35	A300	982	-	83,5	6,6
16	250	600	30	-	-	B15	A400	942	151	132,8	5,7
17	200	400	35	500	50	B25	A300	1256	201	102,0	6,3
18	250	500	35	-	-	B25	A400	1140	-	116,0	6,6
19	250	600	35	500	50	B35	A300	760	157	150,5	7,2
20	250	600	30	-	-	B15	A400	804	-	125,0	5,4
21	250	500	35	500	60	B25	A300	616	-	95,7	6,0
22	300	600	30	-	-	B20	A400	1140	236	191,7	5,7
23	200	500	35	450	50	B35	A300	982	-	135,5	5,1
24	250	550	30	600	80	B25	A400	942	-	150	5,4
25	200	400	35	-	-	B30	A300	509	-	52,4	6,0

Диаметр стержней растянутой арматуры определять по сортаменту прил. 4 по значению  $A_s$ .

## 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 временных длительных 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) <math>\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2 + \left(\frac{1}{r}\right)_3</math>.</p> <p>б) <math>\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2</math>.</p> <p>в) <math>\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2</math>.</p>
<p>7. Как определить полную кривизну изгибаемого элемента с трещинами в растянутой зоне?</p>	<p>а) <math>\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2 + \left(\frac{1}{r}\right)_3</math>.</p> <p>б) <math>\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2</math>.</p> <p>в) <math>\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2</math>.</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 меняющимися пропорционально значениям изгибающего момента. В этом случае для свободно опертых и консольных элементов максимальный прогиб определяют по формуле:

$$f = Sl^2 \left( \frac{1}{r} \right)_{\max}$$

где  $\left( \frac{1}{r} \right)_{\max}$  - 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 или табл. 7 прил. 2.

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

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

где  $\left( \frac{1}{r} \right)_{\max}$ ,  $\left( \frac{1}{r} \right)_{\text{sup},l}$ ,  $\left( \frac{1}{r} \right)_{\text{sup},r}$  - 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:

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

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

- при непродолжительном действии нагрузки  $E_{b1} = 0,85 E_b$ ;
- при продолжительном действии нагрузки  $E_{b1} = \frac{E_b}{1 + j_{b,crc}}$ ;

$j_{b,crc}$  - коэффициент ползучести бетона, принимаемый в зависимости от относительной влажности воздуха и класса бетона по табл. 4.4 или прил. .

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:

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

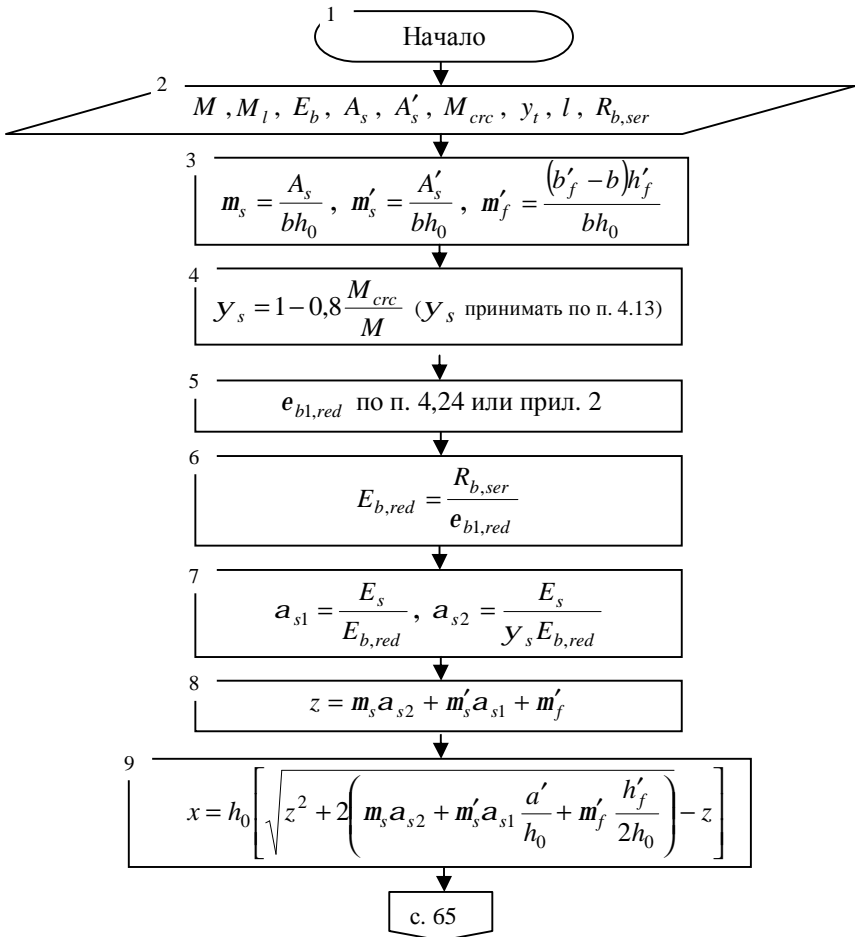
где  $j_1$  - см. табл. 4.5 или табл. 5 прил. 2;

$j_2$  - см. табл. 4.6 или табл. 6 прил. 2.

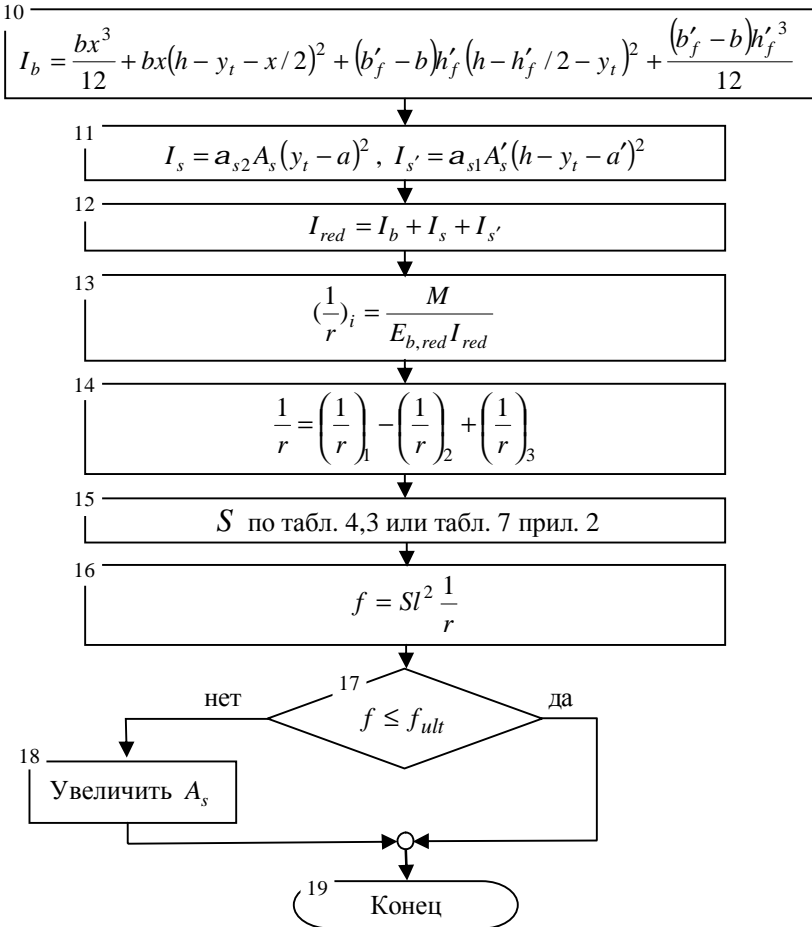
При этом вычисления по п. 4 – 12 блок-схемы 6.1 производить не нужно.

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

Блок-схема 6.1 (начало)







**Пример расчета 1.**

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

1. Начало.

2. Элемент таврового сечения с размерами  $b = 250\text{мм}$ ,  $h = 600\text{мм}$ ,  $b'_f = 600\text{мм}$ ,  $h'_f = 100\text{мм}$ ,  $a = 40\text{мм}$ ,  $a' = 20\text{мм}$ ,  $h_0 = 600 - 40 = 560\text{мм}$ .

Класс бетона В20, класс арматуры А400,  $A_s = 804\text{мм}^2$ ,  $d_s = 16\text{мм}$ ,  $A'_s = 251\text{мм}^2$ . Пролет элемента  $l = 6\text{м}$ . Влажность воздуха 50%.

Прочностные и деформативные характеристики бетона класса В20 (по табл. 1, 3 прил. 2):  $R_{b,ser} = 15 \text{ МПа}$ ,  $R_{bt,ser} = 1,35 \text{ МПа}$ ,  $E_b = 27500 \text{ МПа}$ .

Для арматуры класса А400  $E_s = 200000 \text{ МПа}$ .

Изгибающий момент от нормативных нагрузок  $M = 100,5 \text{ кНм}$ , в т.ч. от длительно действующих  $M_l = 85,3 \text{ кНм}$ .

Значения  $y_t = 340,08 \text{ мм}$ ,  $M_{crc} = 35,79 \text{ кНм}$  - по результатам расчета примера №1 практического занятия №5.

$$3. m_s = \frac{804}{250 \cdot 560} = 0,006, m'_s = \frac{251}{250 \cdot 560} = 0,002,$$

$$m'_f = \frac{(600 - 250)100}{250 \cdot 560} = 0,25.$$

$$4. y_s = 1 - 0,8 \frac{35,79}{100,5} = 0,715.$$

5.  $e_{b1,red} = 0,0015$  по прил. 2 для непродолжительного действия нагрузки.

$$6. E_{b,red} = \frac{15}{0,0015} = 10000 \text{ МПа}.$$

$$7. a_{s1} = \frac{200000}{10000} = 20, a_{s2} = \frac{200000}{0,715 \cdot 10000} = 27,97.$$

$$8. z = 0,006 \cdot 27,97 + 0,002 \cdot 20 + 0,25 = 0,458.$$

9.

$$x = 560 \left[ \sqrt{0,458^2 + 2 \left( 0,006 \cdot 27,97 + 0,002 \cdot 20 \cdot \frac{30}{560} + 0,082 \cdot \frac{100}{2 \cdot 560} \right)} - 0,458 \right] = 175,24 \text{ мм}$$

$$10. I_b = \frac{250 \cdot 175,24^3}{12} + 250 \cdot 175,24 (600 - 340,08 - 175,24 / 2)^2 + (600 - 250) \cdot 100 \cdot (600 - 100 / 2 - 340,08)^2 + \frac{(600 - 250)100^3}{12} = 2984204717 \text{ мм}^4.$$

$$11. I_s = 27,97 \cdot 804 (340,08 - 40)^2 = 2024988762 \text{ мм}^4,$$

$$I_{s'} = 20 \cdot 251 (600 - 340,08 - 30)^2 = 265373296,1 \text{ мм}^4.$$

$$12. I_{red} = 2984204717 + 2024988762 + 265373296,1 = 5274566775,1 \text{ мм}^4.$$

$$13. \left( \frac{1}{r} \right)_1 = \frac{100,5 \cdot 10^6}{10000 \cdot 5274566775,1} = 1,905 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{мм}}.$$

- Повторяя расчет п. 4 блок-схемы, определяем  $\left(\frac{1}{r}\right)_2 = 1,568 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{мм}}$ ,
- $$\left(\frac{1}{r}\right)_3 = 2,095 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{мм}}.$$
14.  $\left(\frac{1}{r}\right)_{\text{max}} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2 + \left(\frac{1}{r}\right)_3 = (1,905 - 1,568 + 2,095) \cdot 10^{-6} =$   
 $= 2,432 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{мм}}.$
15. По табл. 7 прил. 2 принимаем  $S = \frac{5}{48}.$
16.  $f = \frac{5}{48} 6000^2 \cdot 2,432 \cdot 10^{-6} = 9,12 \text{ мм}.$
17.  $f = 9,12 \text{ мм} < f_{ult} = \frac{1}{200} \cdot 6000 = 30 \text{ мм}.$

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	0,006	$1,905 \cdot 10^{-6}$	$1,568 \cdot 10^{-6}$	$2,095 \cdot 10^{-6}$	9,12	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  $b = 250 \text{ мм}$ ,  $h = 400 \text{ мм}$ ,  $a = 40 \text{ мм}$ ,  $a' = 30 \text{ мм}$ ,  $h_0 = 400 - 40 = 360 \text{ мм}$ . Пролет элемента  $l = 6l$ . Влажность воздуха 65%.

Прочностные характеристики бетона. Для бетона класса В25 (по табл. 1, 3 прил. 2):  $R_{b,ser} = 18,5 \text{ МПа}$ ,  $R_{bt,ser} = 1,55 \text{ МПа}$ ,  $E_b = 30000 \text{ МПа}$ .

Для арматуры класса А400:  $E_s = 200000 \text{ МПа}$ ,  $A_s = 1473 \text{ мм}^2$ ,  $A'_s = 236 \text{ мм}^2$ .

Изгибающий момент от нормативных нагрузок  $M = 85 \text{ кНм}$ , в т.ч. от длительно действующих  $M_f = 68 \text{ кНм}$ .

$$3. m_s = \frac{1473}{250 \cdot 360} = 0,016 .$$

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

$$m_s a_{s1} = 0,016 \cdot 16,22 = 0,26 , \quad a_{s1} = \frac{300}{R_{b,ser}} = \frac{300}{18,5} = 16,22 , \quad \text{по табл. 5}$$

прил. 2 коэффициент  $j_1 = 0,405$  , по табл. 6 прил. 2 коэффициент  $j_2 = 0,17$  .

$$\left(\frac{1}{r}\right)_1 = \frac{85 \cdot 10^6 - 0,17 \cdot 250 \cdot 400^2 \cdot 1,55}{0,405 \cdot 200000 \cdot 1473 \cdot 360^2} = 4,815 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{мм}} .$$

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

$$m_s a_{s1} = 0,016 \cdot 16,22 = 0,26 , \quad a_{s1} = \frac{300}{R_{b,ser}} = \frac{300}{18,5} = 16,22 , \quad \text{по табл. 5}$$

прил. 2 коэффициент  $j_1 = 0,405$  , по табл. 6 прил. 2 коэффициент  $j_2 = 0,17$  .

$$\left(\frac{1}{r}\right)_2 = \frac{68 \cdot 10^6 - 0,17 \cdot 250 \cdot 400^2 \cdot 1,55}{0,405 \cdot 200000 \cdot 1473 \cdot 360^2} = 3,716 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{мм}} .$$

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

$$m_s a_{s1} = 0,016 \cdot 30,27 = 0,484 , \quad a_{s1} = \frac{560}{R_{b,ser}} = \frac{560}{18,5} = 30,27 , \quad \text{по табл. 5}$$

прил. 2 коэффициент  $j_1 = 0,302$  .

$$m_s a_{s1} = 0,016 \cdot 16,22 = 0,26 , \quad a_{s1} = \frac{300}{R_{b,ser}} = \frac{300}{18,5} = 16,22 , \quad \text{по табл. 6}$$

прил. 2 коэффициент  $j_2 = 0,13$  .

$$\left(\frac{1}{r}\right)_3 = \frac{68 \cdot 10^6 - 0,13 \cdot 250 \cdot 400^2 \cdot 1,55}{0,302 \cdot 200000 \cdot 1473 \cdot 360^2} = 5,198 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{мм}} .$$

$$14. \left(\frac{1}{r}\right)_{\max} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2 + \left(\frac{1}{r}\right)_3 = (4,815 - 3,716 + 5,198)10^{-6} = .$$

$$= 6,297 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{мм}} .$$

$$15. \text{ По табл. 7 прил. 2 принимаем } S = \frac{5}{48} .$$

$$16. f = \frac{5}{48} 6000^2 \cdot 6,297 \cdot 10^{-6} = 23,61 \text{ мм} .$$

$$17. f = 23,61 \text{ мм} < f_{ult} = \frac{1}{200} 6000 = 30 \text{ мм} .$$

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	18,5	0,016	$4,815 \cdot 10^{-6}$	$3,716 \cdot 10^{-6}$	$5,198 \cdot 10^{-6}$	23,61	30

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

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 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.

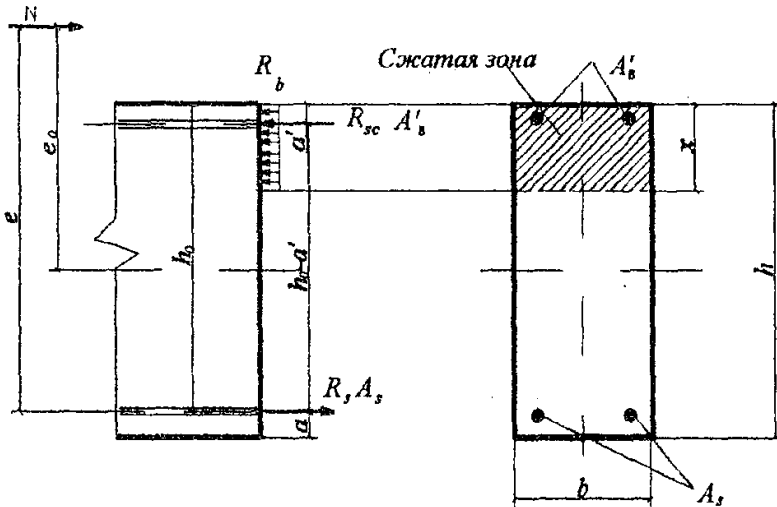


Рис. 7.1. Схема усилий в поперечном сечении внецентренно сжатого элемента.

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

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

где  $j$  - коэффициент, определяемый по формуле:

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

Здесь  $j_b$  и  $j_{sb}$  - коэффициенты, принимаемые по табл. 3.5 и 3.6 или табл. 1 и 2 прил. 3.



При подборе арматуры в первом приближении принимаем коэффициент  $j = 0,8$ . Далее с учетом найденной площади и конструктивных требований назначается армирование внецентренно сжатого элемента, коэффициенты  $j_b$  и  $j_{sb}$  корректируются, и производится проверка прочности сечения с принятым армированием. При этом 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.

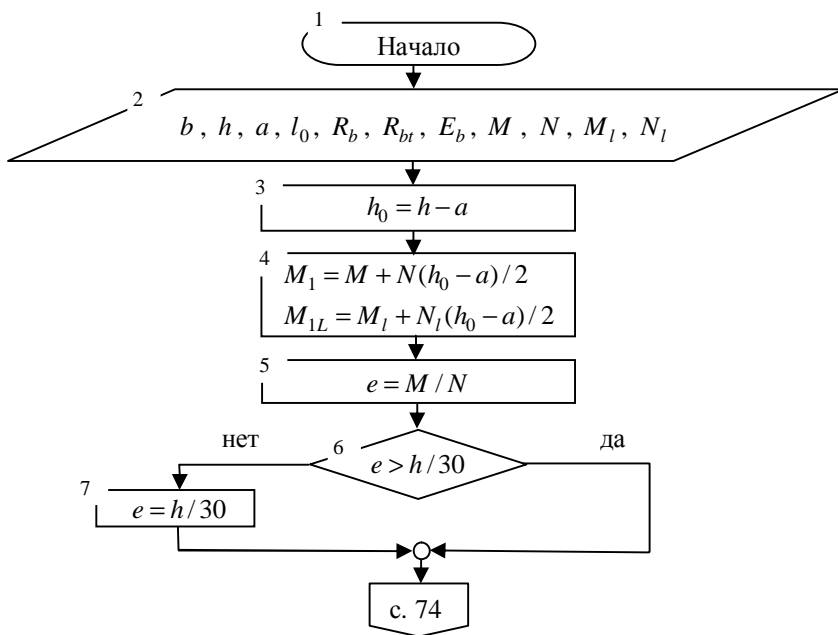
**При расчете сечений с несимметричной арматурой** площади сечения сжатой и растянутой арматуры в п. 24 и 25 блок-схемы 7.1, соответствующие минимуму их суммы, определяют по формулам:

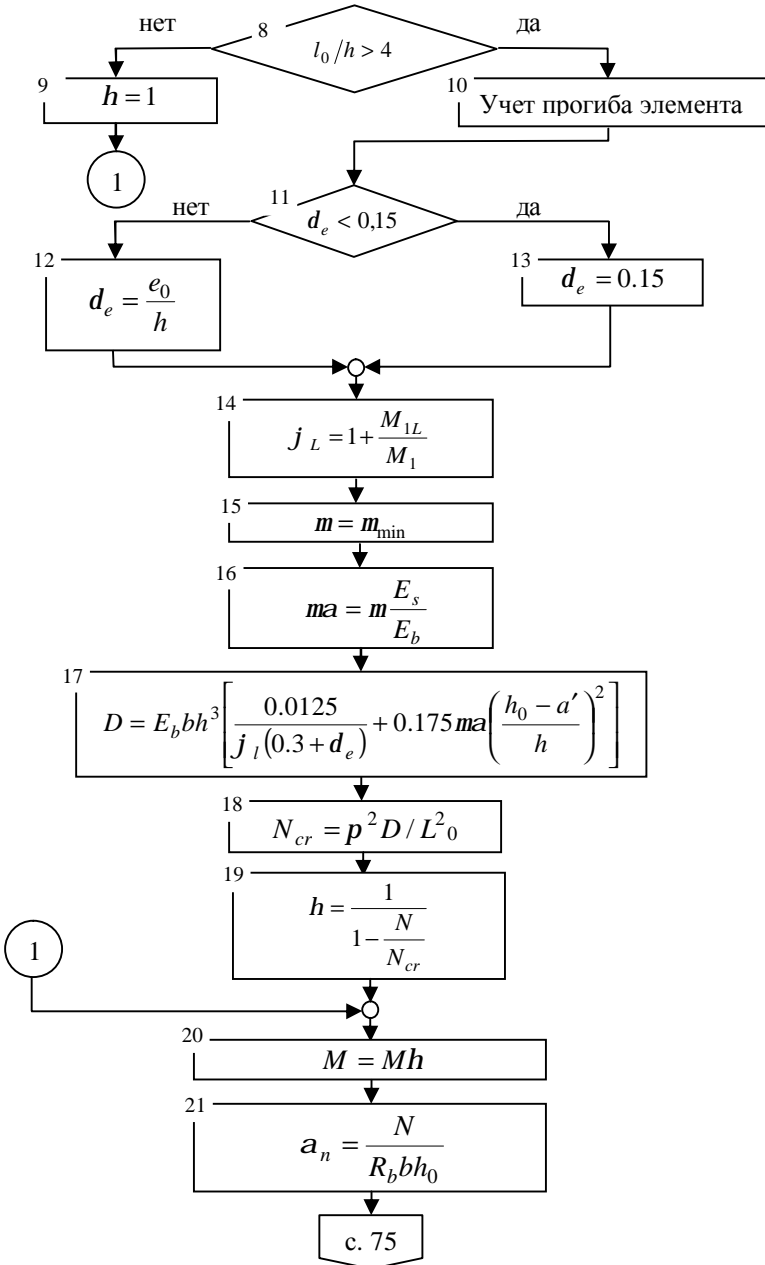
$$A'_s = \frac{Ne - a_R R_b b h_0^2}{R_{sc} (h_0 - a')} ; A_s = \frac{x_R R_b b h_0 - N}{R_s} + A'_s .$$

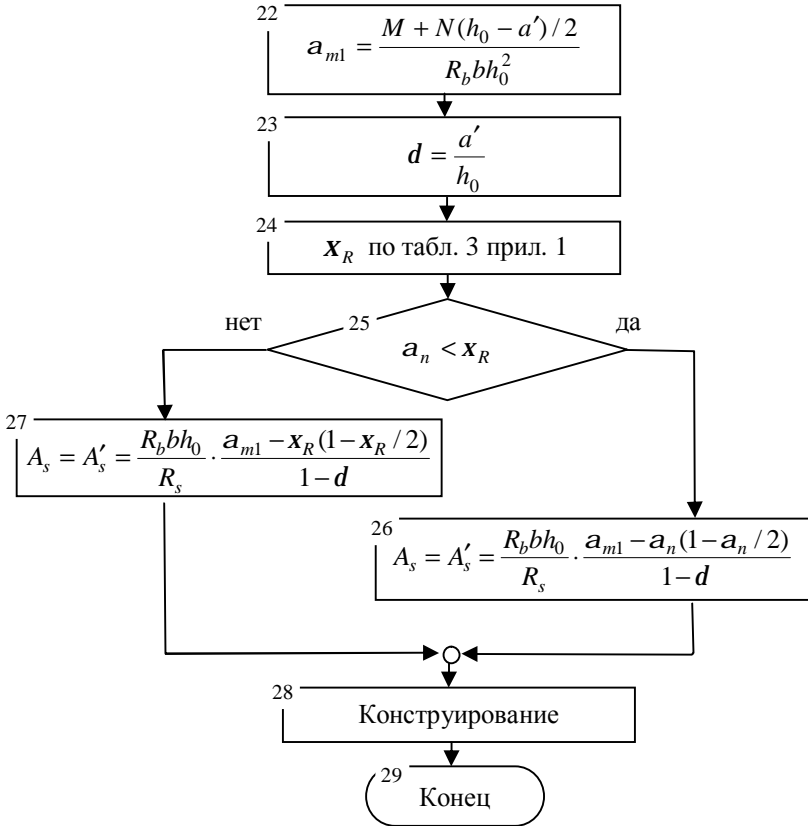
Здесь  $e = M/N + (h_0 - a')/2$ . При этом вычисления по п. 21 – 25 выполнять не нужно.

- **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  $b = h = 300\text{мм}$ ,  $a_s = a'_s = 40\text{мм}$ ,  $l = 3\text{м} = 3000\text{мм}$ . Опираение жесткое на двух опорах.

Расчетные усилия:  $M = 23,76\text{кНм}$  и  $N = 834,5\text{кН}$ , от длительно действующей нагрузки  $M_l = 16,88\text{кНм}$ ,  $N_l = 663,14\text{кН}$ .

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 А400,  $R_s = 355\text{МПа}$ . Расчетную длину элемента принимаем  $l_0 = 0,5l = 1500\text{мм}$ .

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

$$4. e = \frac{23,76 \cdot 1000}{834,5} = 28,47 \text{ мм} .$$

$$5. M_1 = 834,5(260 - 40) / 2 + 23,76 \cdot 10^3 = 115,56 \cdot 10^3 \text{ кНмм} = 115,56 \text{ кНм} ,$$

$$M_{1L} = 663,14(26 - 4) / 2 + 16,88 = 89,83 \text{ кНсм} .$$

$$6. e = 28,47 \text{ мм} > e_0 = \frac{300}{30} = 10 \text{ мм} .$$

$$8. l_0/h = 1500/300 = 5 > 4 - \text{учитываем прогиб колонны} .$$

$$11. d_e = \frac{28,47}{300} = 0,095 < 0,15 .$$

$$13. d_e = 0,15 .$$

$$14. j_l = 1 + \frac{89,83}{115,56} = 1,78 .$$

$$15. \text{В первом приближении принимаем } m = 0,02 \text{ согласно п. 5.12.}$$

$$16. ma = 0,02 \frac{200000}{27500} = 0,145 .$$

$$17. D = 27500 \cdot 300 \cdot 300^3 \left[ \frac{0,0125}{1,78(0,3 + 0,15)} + 0,175 \cdot 0,145 \left( \frac{260 - 40}{300} \right)^2 \right] = 6,52 \cdot 10^{12} \text{ Н} \cdot \text{мм} .$$

$$18. N_{cr} = \frac{3,14^2 \cdot 6,52 \cdot 10^{12}}{1500^2} = 28570,93 \cdot 10^3 \text{ Н} = 28570,93 \text{ кН} .$$

$$19. h = \frac{1}{1 - \frac{834,5}{28570,93}} = 1,03 .$$

$$20. M = Mh = 23,76 \cdot 1,03 = 24,47 \text{ кНм} .$$

$$21. a_n = \frac{834,5 \cdot 10^3}{11,5 \cdot 300 \cdot 260} = 0,93 .$$

$$22. a_{m1} = \frac{24,47 \cdot 10^6 + 834,5 \cdot 10^3 \cdot (260 - 40) / 2}{11,5 \cdot 300 \cdot 260^2} = 0,499 .$$

$$23. d = \frac{40}{260} = 0,15 .$$

$$24. x_R = 0,531 .$$

$$25. a_n = 0,93 > x_R = 0,531 .$$

$$26. A_s = A'_s = \frac{11,5 \cdot 300 \cdot 260}{355} \cdot \frac{0,499 - 0,531(1 - 0,531/2)}{1 - 0,15} = 323,96 \text{ мм}^2.$$

$m = \frac{2 \cdot 323,96}{300 \cdot 260} = 0,008$  - полученное армирование превышает армирование принятое при определении D. Повторяем расчет с п. 13 блок-схемы, принимая  $m = 0,044$ . В результате получаем  $A_s \geq 326,93 \text{ мм}^2$ .

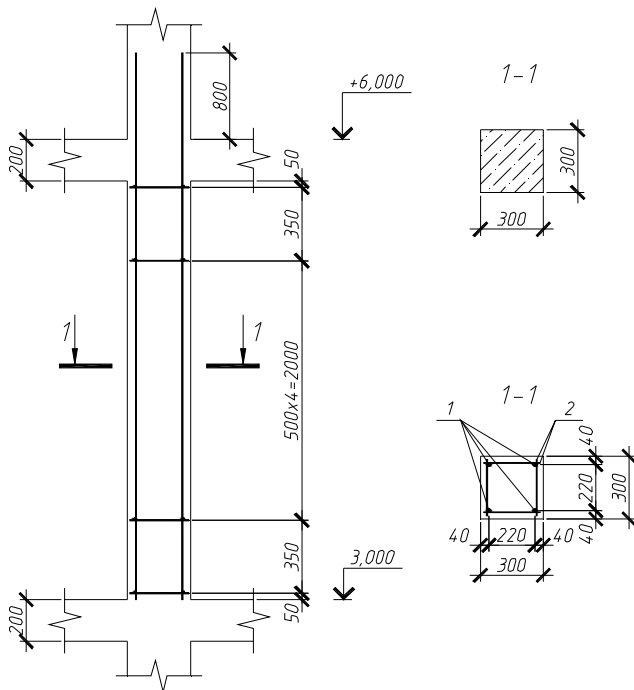


Рис. 7.2. Схема армирования колонны К-1 (к примеру расчета 1)

Таблица 7.2

Спецификация колонны К-1

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		<u>Детали</u>		
1	ГОСТ 5781-82*	φ 16 А400 l=3800	4	5,996
2	ГОСТ 5781-82*	φ 6 А240 l=270	28	0,06
		<u>Материалы</u>		
		Бетон тяжелый кл.В20		0,27м <sup>3</sup>

Таблица 7.3

## Ведомость расхода стали, кг

Марка элемента	Изделия арматурные						Всего
	Арматура класса						
	A240			A400			
	ГОСТ 5781-82*			ГОСТ 5781-82*			
	Ø6	-	Итого	Ø16	-	Итого	
К-1	1,68	-	1,68	23,984	-	23,984	25,664

28. Продольную арматуру принимаем  $2 \text{ } \varnothing 16$   $A_s = A'_s = 402 \text{ мм}^2$ . Поперечную арматуру в колонне принимаем  $\varnothing 6$  класса A240 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	$l_0$ , мм	$h_0$ , мм	$h$	$A_s$ , мм <sup>2</sup>	$A'_s$ , мм <sup>2</sup>
Значение	11,5	1500	260	1,03	402	402

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 -  $l_0 = l = 3,3 \text{ м}$ . Колонна бетонировалась в вертикальном положении.

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  $g_{b3} = 0,9$ , принимаемого по п. 2.8,  $R_b = 0,9 \cdot 17 = 15,3 \text{ МПа}$ . Продольная рабочая арматура класса А400,  $R_s = 355 \text{ МПа}$ .

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

4.  $e_0 = \frac{7,5 \cdot 1000}{1670} = 4,49 \text{ мм}$ .

6.  $e_0 = 4,49 \text{ мм} < 10 \text{ мм}$ .

7. 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 Ø 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  $j_b = 0,888$ ,  $j_{sb} = 0,903$ .

$$a_s = \frac{R_s A_{s,tot}}{R_b A}, \quad a_s = \frac{355 \cdot 1963}{15,3 \cdot 300 \cdot 300} = 0,506, \quad j = 0,888 + 2(0,903 - 0,888)0,506 = 0,903 < j_{sb} = 0,903.$$

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 Ø 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	$h$	$A_s$ , мм <sup>2</sup>	$A'_s$ , мм <sup>2</sup>
Значение	15,3	3,3	260	-	982	982

29. Конец.

**Индивидуальные задания для подбора симметричной арматуры во  
внецентренно сжатом элементе.**

Таблица 7.4

Варианты заданий

№	$b$ , мм	$h$ , мм	$a$ , мм	$l$ , м	Класс бетона	Класс арма- туры	Услов. опирани*	$N$ , кН	$M$ , кНм	$N_l$ , кН	$M_l$ , кНм
1	300	300	35	2,8	B15	A300	жест.	800	55	700	40
2	300	400	30	3	B30	A400	шарн.	1400	75	1250	60
3	250	400	40	3,3	B40	A500	жест.	1870	60	1780	50
4	400	400	35	3,6	B15	A300	шарн.	1248	45	1154	39
5	350	450	30	4,2	B20	A400	жест.	1311	32	1202	24
6	400	350	40	2,7	B25	A500	шарн.	1723	41	1636	30
7	400	600	35	3,3	B25	A300	жест.	2347	95	2180	86
8	500	500	30	3,9	B15	A400	шарн.	1973	79	1811	65
9	300	500	40	2,7	B15	A500	жест.	1264	54	1100	41
10	300	600	35	4,2	B25	A300	жест.	2257	86	2089	64
11	350	450	30	4,0	B35	A400	жест.	2382	91	2093	70
12	250	450	40	3,0	B15	A300	шарн.	917	64	789	49
13	300	600	35	3,3	B20	A300	жест.	1756	59	1643	40
14	300	350	30	3,6	B25	A400	шарн.	962	45	823	31
15	350	350	40	4,2	B35	A500	жест.	1746	86	1621	71
16	300	300	35	2,7	B15	A300	шарн.	576	35	443	22
17	450	400	30	3,3	B20	A400	жест.	1465	67	1297	52
18	300	450	40	3,9	B15	A300	шарн.	875	45	729	30
19	450	300	35	2,7	B30	A400	жест.	1597	74	1446	62
20	450	500	40	3,3	B25	A400	шарн.	2469	69	2296	57
21	300	350	35	3,0	B20	A400	шарн.	938	53	769	46
22	250	250	35	3,6	B35	A500	шарн.	634	39	571	27
23	300	300	40	4,2	B15	A300	жест.	576	32	510	24
24	350	350	40	2,7	B20	A400	шарн.	894	78	790	63
25	250	350	35	3,0	B25	A300	жест.	685	64	608	49

\*Условия опирания приняты одинаковыми для обоих концов колонны.



## 8. 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 8.1

### **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) $F \geq R_{bt} u h_0$ . б) $F \leq R_{bt} u h_0$ . в) $F \leq R_{bt} h_0^2$ .
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. 8.1), 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.

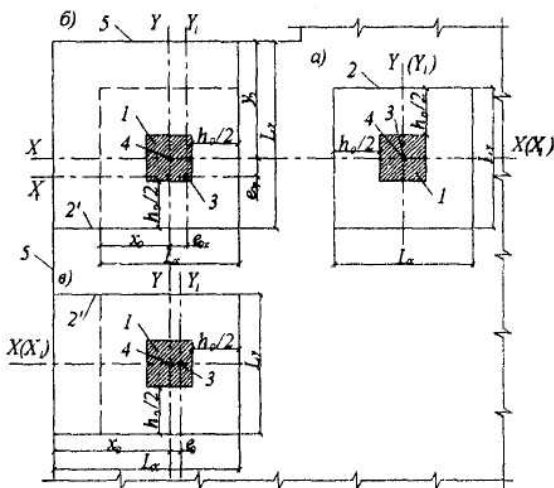


Рис. 8.1 Схемы расположения расчетных контуров продавливания (обозначения см. черт. 3.46 [2])

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  $F_{b,ult}$  - 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.

Отношение  $\frac{M}{M_{b,ult} + M_{sw,ult}}$  принимать не более  $\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}}$ .

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).

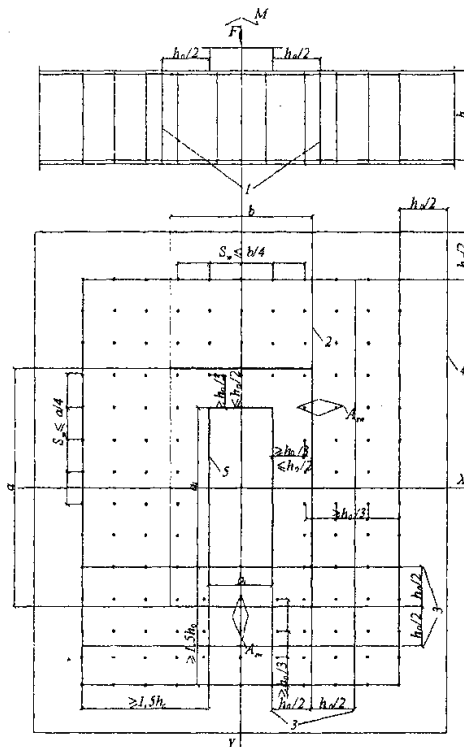
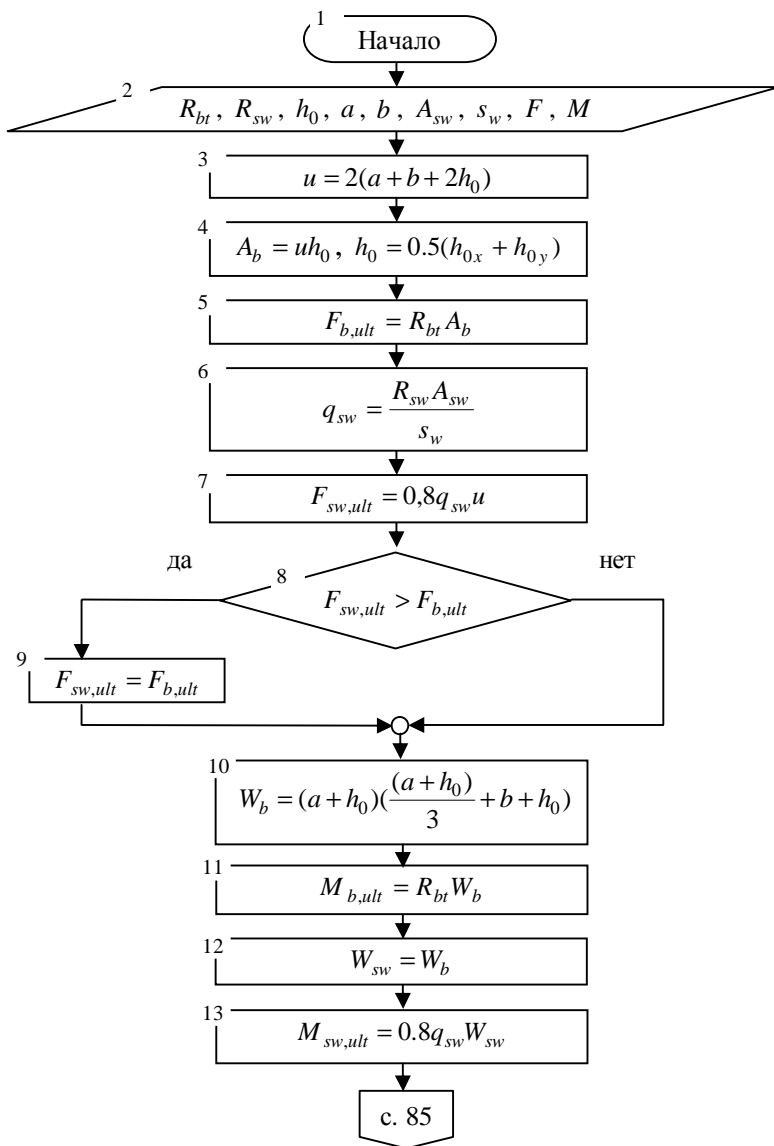


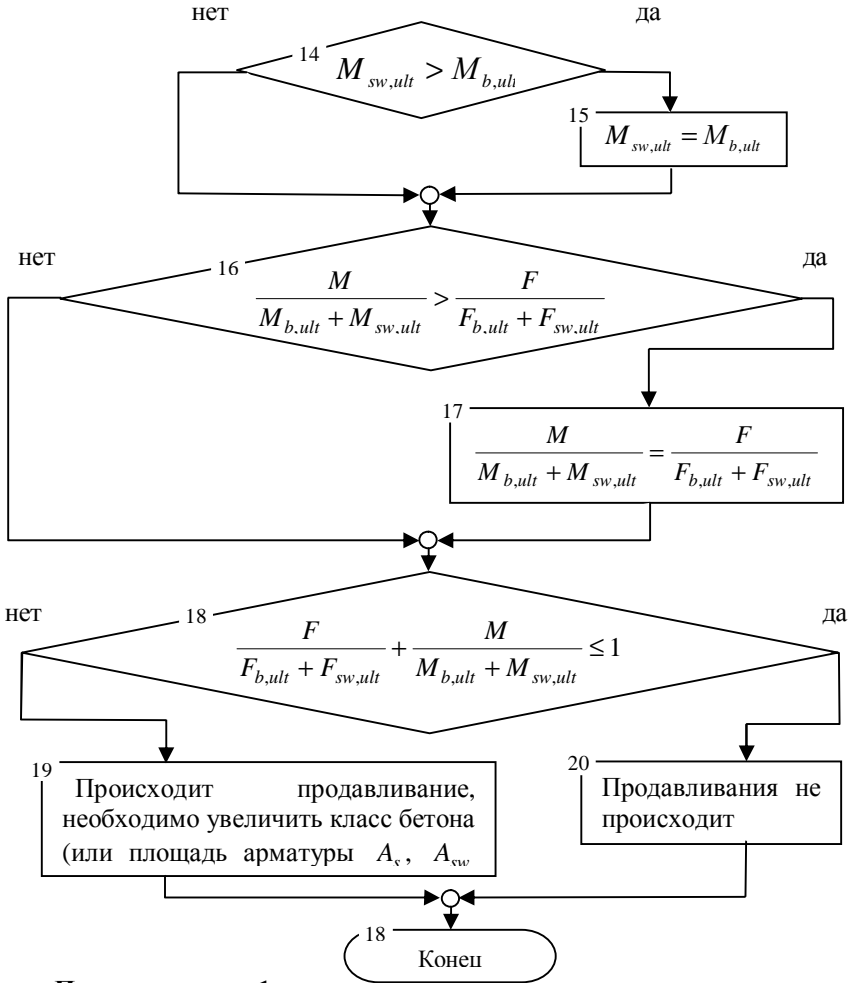
Рис. 8.2. Схема расчетного контура при продавливании (обозначения см. стр 135 [2]).

- Последовательность расчета железобетонных элементов на продавливание представлена в блок-схеме 8.1 (площадка приложения нагрузки внутри плоского элемента):

Блок-схема 8.1(начало)



Блок-схема 8.1(окончание)



### Пример расчета 1.

Проверить сечение монолитной плиты перекрытия с рабочей высотой сечения  $h_0 = 270 \text{ мм}$  на продавливание средней колонной с размерами сечения  $a = b = 300 \text{ мм}$ . Расчет ведем по блок-схеме 8.1.

1. Начало.

2. Продавливающая сила  $F = 361,2 \text{ кН}$ . Значение изгибающего момента  $M = 23,76 \text{ кНм}$ , поперечная арматура в сечении контура продавливания класса А240 с расчётным сопротивлением растяжению

$R_{sw} = 170 \text{ МПа}$ , площадью  $A_{sw} = 283 \text{ мм}^2$ ,  $s_w = 150 \text{ мм}$ , класс бетона плиты В25  $R_{bt} = 1,05 \text{ МПа}$ .

3.  $u = 2(300 + 300 + 2 \cdot 180) = 1920 \text{ мм}$ .

4.  $A_b = 1920 \cdot 180 = 345600 \text{ мм}^2$ .

5.  $F_{b,ult} = R_{bt} A_b = 1,05 \cdot 345600 = 362880 \text{ Н}$ .

6.  $q_{sw} = \frac{170 \cdot 283}{150} = 320,73 \text{ Н / мм}$ .

7.  $F_{sw,ult} = 0,8 q_{sw} u = 0,8 \cdot 320,73 \cdot 1920 = 492641,3 \text{ Н}$ .

8.  $492641,3 \text{ Н} > 362880 \text{ Н}$ .

9.  $F_{sw,ult} = 362880 \text{ Н}$ .

10.  $W_b = (300 + 180) \left( \frac{300 + 180}{3} + 300 + 180 \right) = 307200 \text{ мм}^2$ .

11.  $M_{b,ult} = R_{bt} W_b = 1,05 \cdot 307200 = 322560 \text{ Нмм}$ .

12.  $W_{sw} = 307200 \text{ мм}^2$  - принимается равным  $W_b$  при равномерном расположении арматуры.

13.  $M_{sw,ult} = 0,8 q_{sw} W_{sw} = 0,8 \cdot 320,73 \cdot 322560 = 78822605 \text{ Нмм}$ .

14.  $M_{sw,ult} = 78822605 \text{ Нмм} > M_{b,ult} = 322560 \text{ Нмм}$ .

15.  $M_{sw,ult} = 322560 \text{ Нмм}$ .

16.  $\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{361,2 \cdot 10^3}{362880 + 362880} = 0,498$ ,

$\frac{M}{M_{b,ult} + M_{sw,ult}} = \frac{23,76 \cdot 10^6}{322560 + 322560} = 36,83 > 0,498$ , принимаем

17.  $\frac{M}{M_{b,ult} + M_{sw,ult}} = 0,498$ .

18.  $0,498 + 0,498 = 0,996 < 1$  - условие выполняется.

20. 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	$u$ , мм	$h_0$ , мм	$F_{b,ult} + F_{sw,ult}$ , кН	$M_{b,ult}$ , Нмм	$M_{sw,ult}$ , Нмм
Значение	361,2	1920	180	725,76	322560	322560

18. Конец.

## Индивидуальные задания для расчета плиты на продавливание.

Таблица 8.2

Варианты заданий

№	Класс бетона	Класс арматуры	$A_{sw}$ , мм <sup>2</sup>	$s_w$ , мм	$a$ , мм	$b$ , мм	$h_0$ , мм	$F$ , кН	$M$ , кНм
1	B15	A240	201	100	300	300	157	200	20
2	B20	A300	302	150	250	250	196	300	30
3	B25	A240	402	200	300	250	177	290	40
4	B30	A300	157	100	250	350	156	320	15
5	B35	A240	314	150	250	400	177	438	17
6	B15	A300	302	200	300	250	156	173	20
7	B20	A240	126	100	300	300	157	248	24
8	B25	A300	201	150	250	250	196	360	28
9	B30	A240	302	200	300	250	177	300	20
10	B35	A300	402	100	250	350	156	350	30
11	B15	A240	157	150	250	400	177	260	40
12	B20	A300	314	200	300	250	156	240	15
13	B25	A240	302	100	300	300	157	268	17
14	B30	A300	126	150	250	250	196	273	20
15	B35	A240	201	200	300	250	177	289	24
16	B15	A300	302	100	250	350	156	170	28
17	B20	A240	402	150	250	400	177	300	20
18	B25	A300	157	200	300	250	156	150	30
19	B30	A240	314	100	300	300	157	320	40
20	B35	A300	302	150	250	250	196	320	15
21	B15	A240	126	200	300	250	177	168	17
22	B20	A300	201	100	250	350	156	253	20
23	B25	A240	302	150	250	400	177	289	24
24	B30	A300	402	200	300	250	156	300	28
25	B35	A240	157	100	300	300	157	300	19

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М., 2004. – 27с.
2. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М.: ГУП НИИЖБ Госстрой России, 2005. – 55с.
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., 2007. – 887с.
5. СНиП 2.01.07-85\*. Нагрузки и воздействия. Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2003. – 44с.
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

## РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА И АРМАТУРЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПО ПЕРВОЙ ГРУППЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

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 ( $\text{кгс/см}^2$ ) 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)

В необходимых случаях расчетные сопротивления бетона умножаются на следующие коэффициенты условий работы  $\gamma_{bi}$ :

- а)  $\gamma_{b1} = 0,9$  - для бетонных и железобетонных конструкций при действии только постоянных и длительных нагрузок, вводимый к расчетным значениям  $R_b$  и  $R_{bt}$ ;
- б)  $\gamma_{b2} = 0,9$  - для бетонных конструкций, вводимый к расчетному значению  $R_b$ ;
- в)  $\gamma_{b3} = 0,9$  - для бетонных и железобетонных конструкций, бетонируемых в вертикальном положении, вводимый к расчетному значению  $R_b$ .

Таблица 2

Расчетные значения сопротивления арматуры для предельных состояний первой группы

Арматура классов	Расчетные значения сопротивления арматуры для предельных состояний первой группы, МПа ( $\text{кгс/см}^2$ )		
	растяжению		сжатию, $R_{sc}$
	продольной, $R_s$	поперечной (хомутов и отогнутых стержней), $R_{sw}$	
A240	215 (2190)	170 (1730)	215 (2190)
A300	270 (2750)	215 (2190)	270 (2750)
A400	355 (3620)	285 (2900)	355 (3620)
A500	435 (4430)	300 (3060)	400 (4080)
B500	415 (4230)	300 (3060)	360 (3670)

Таблица 3

Значения коэффициентов  $\zeta_R$  и  $a_R$  в зависимости от класса продольной арматуры

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

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА И АРМАТУРЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПО ВТОРОЙ ГРУППЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

Таблица 1

Расчетные сопротивления бетона для предельных состояний второй группы.

Вид сопротивления	Нормативные сопротивления бетона $R_{b,n}$ и $R_{bt,n}$ и расчетные значения сопротивления бетона для предельных состояний второй группы $R_{b,ser}$ и $R_{bt,ser}$ МПа (кгс/см <sup>2</sup> ) 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 2

Расчетные сопротивления растяжению арматуры для предельных состояний второй группы

Арматура классов	Номинальный диаметр арматуры, мм	Нормативные значения сопротивления растяжению $R_{sn}$ и расчетные значения сопротивления растяжению для предельных состояний второй группы $R_{s,ser}$ МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
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 3

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 <sup>2</sup> ), 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/см<sup>2</sup>.

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  $w < 40\%$  -  $34 \cdot 10^{-4}$ .

Таблица 4

Значения коэффициента  $\gamma$ , учитывающего неупругие деформации растянутого бетона

Форма сечения	Коэффициент $\gamma$
1. Прямоугольное	1,30
2. Тавровое с полкой, расположенной в сжатой зоне	1,30

Таблица 5

$\mu_f$	Коэффициенты $\varphi_1$ при значениях $\mu\alpha_{s1}$ , равных											
	0,07	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
0,0	0,60	0,55	0,49	0,45	0,38	0,34	0,30	0,27	0,25	0,23	0,22	0,20
0,2	0,69	0,65	0,59	0,55	0,48	0,43	0,39	0,36	0,33	0,31	0,29	0,27
0,4	0,73	0,69	0,65	0,61	0,55	0,50	0,46	0,42	0,40	0,37	0,35	0,33
0,6	0,75	0,72	0,68	0,65	0,59	0,55	0,51	0,47	0,45	0,42	0,40	0,38
0,8	0,76	0,74	0,71	0,69	0,62	0,58	0,54	0,51	0,48	0,46	0,44	0,42
1,0	0,77	0,75	0,72	0,70	0,65	0,61	0,57	0,54	0,52	0,49	0,47	0,45

$$\mu_s a_{s1} = \frac{A_s}{bh_o} a_{s1}; \mu_f = \frac{(b_f - b)h_f}{bh_o} + \frac{A_s}{bh_o} a_{s1}.$$

при продолжительном действии нагрузок  $a_{s1} = 560/R_{b,ser}$   
при непродолжительном действии нагрузок  $a_{s2} = 300/R_{b,ser}$

Таблица 6

$\mu_f$	Коэффициенты $\varphi_2$ при значениях $\mu\alpha_{s1}$ равных													
	$\leq$ 0,07	0,07 -0,1	0,1- 0,2	0,2- 0,4	0,4- 0,6	0,6- 0,8	0,8- 1,0	$\leq$ 0,07	0,07- 0,1	0,1- 0,2	0,2- 0,4	0,4- 0,6	0,6- 0,8	0,8- 1,0
	непродолжительное действие нагрузок							продолжительное действие нагрузок						
0,0	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12
0,2	0,20	0,20	0,20	0,21	0,22	0,23	0,23	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,16
0,4	0,22	0,23	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20
0,6	0,24	0,25	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24
0,8	0,25	0,26	0,27	0,29	0,32	0,34	0,36	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26	0,27	0,27
1,0	0,26	0,27	0,28	0,30	0,34	0,37	0,39	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,3

$$\mu_s a_{s1} = \frac{A_s}{bh_o} a_{s1}; \mu_f = \frac{(b_f - b)h_f}{bh_o} + \frac{A_s}{bh_o} a_{s1}; \mu_f = \frac{(b_f - b)h_f}{bh_o}; a_{s1} = \frac{300}{R_{bm}}.$$

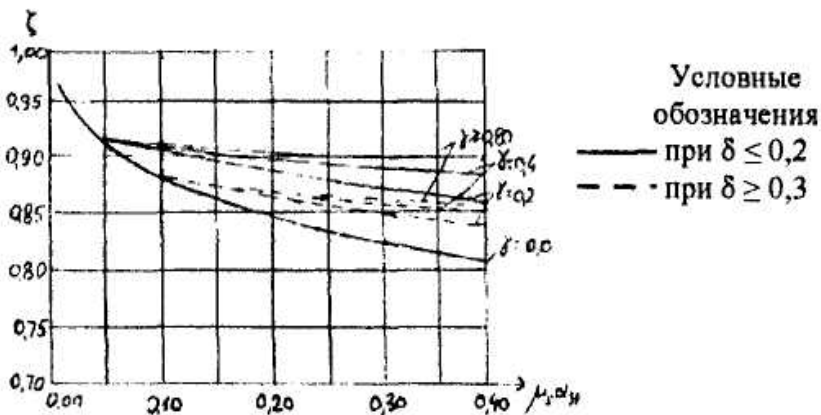


Рис. 1. График коэффициента  $\zeta = z_s/h_o$  для определения плеча внутренней пары сил при расчете по раскрытию трещин изгибаемых элементов

Таблица 7

Схема загрузки свободно опёртой балки	Коэф-т $S$	Схема загрузки консоли	Коэф-т $S$
	$\frac{5}{48}$		$\frac{1}{4}$
	$\frac{1}{12}$		$\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{8} - \frac{a^2}{6l^2}$		$\frac{a}{6l} \left( 3 - \frac{a}{l} \right)$
<p>Примечание. При загрузении элемента сразу по нескольким схемам <math>S = \sum S_i M_i / \sum M_i</math>, где <math>S_i</math> и <math>M_i</math> – соответственно коэффициент <math>S</math> и момент <math>M</math> в середине пролёта балки или в заделке консоли для каждой схемы загрузки. В этом случае кривизна <math>\left( \frac{1}{r} \right)_{\max}</math> определяется при значении <math>M</math> равном <math>\sum M_i</math>.</p>			

$\varphi_1$  - коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки и принимаемый равным:

1,0 - при непродолжительном действии нагрузки;

1,4 - при продолжительном действии нагрузки;

$\varphi_2$  - коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры и принимаемый равным:

0,5 - для арматуры периодического профиля (классов А300, А400, А500, В500);

0,8 - для гладкой арматуры (класса А240);

$\varphi_3$  - коэффициент, учитывающий характер нагружения и принимаемый равным:

1,0 - для изгибаемых и внецентренно сжатых элементов;

1,2 - для растянутых элементов.

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

## ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ $j_b$ И $j_{sb}$ ДЛЯ РАСЧЕТА КОЛОННЫ

Таблица 1

Значения коэффициента  $\varphi_b$

$\frac{N_l}{N}$	Коэффициент $\varphi_b$ 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  $\varphi_{sb}$

$\frac{N_l}{N}$	Коэффициент $\varphi_{sb}$ при $l_0/h$							
	6	8	10	12	14	16	18	20
А. При $a = a' < 0,15h$ и при отсутствии промежуточных стержней или площади сечения этих стержней менее $A_{s,10l}/3$								
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 равной или более $A_{s,10l}/3$ 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

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4 СОРТАМЕНТ АРМАТУРЫ

Таблица 1

Сортамент арматуры.

Номинал. Диам. стержн., мм	Расчетная площадь поперечного стержня, мм <sup>2</sup> , при числе стержней									Теор. масса 1м длины армат., кг	Диаметр арматуры классов		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		A240 A400 A500	A300	B500
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	39,3	58,9	78,5	98,2	117,8	137,5	157,1	176,7	0,144	-	-	+
6	28,3	57	85	113	141	170	198	226	254	0,222	+	-	+
8	50,3	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	+	+	-

Примечания:

- 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.
- 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  
Никитин Георгий Петрович  
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. 6,3

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

Бумага тип. №1

---

Печатно-множительный отдел КГАСУ  
420043, Казань, Зелёная,1