

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Казанский Государственный архитектурно-строительный университет

Кафедра железобетонных и каменных конструкций

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по железобетонным конструкциям

**Тема 2. Проектирование (расчет и конструирование)
изгибаемых элементов**

**Занятие 2. Расчет элементов на прочность по наклонным
сечениям.**

КАЗАНЬ, 2012

Методические указания содержат рекомендации по расчету и конструированию железобетонных элементов таврового профиля.

Под редакцией д-ра техн. наук, проф. Соколова Б.С.

Составитель: Седов А.Н.

Занятие №2.3. Расчет элементов на прочность по наклонным сечениям.

Цель – обеспечить несущую способность изгибаемого железобетонного элемента по наклонным сечениям.

Задача – подобрать необходимую площадь сечения и шаг поперечной арматуры в железобетонном элементе таврового профиля, проверить прочность элемента по наклонным сечениям.

Контрольные вопросы.

1. Записать расчетное условие, обеспечивающее прочность по наклонному сечению без поперечной арматуры.

а) $Q \leq 0.3R_b b h_0$.

б) $Q \leq 0,3\varphi_{w1} \varphi_{b1} R_b b h_0$.

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. Чему равна поперечная сила Q_{sw} , воспринимаемая хомутами в расчетном наклонном сечении?

а) $Q_{sw} = 0.85q_{sw}c$.

б) $Q_{sw} = q_{sw}c$.

в) $Q_{sw} = 0.75q_{sw}c_0$.

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 определяется длина проекции наклонной трещины на продольную ось элемента?

а) $c = 3h_0$.

б) $c = \sqrt{\frac{M_b}{q}}$.

в) $c = c_0$.

6. Записать расчетное условие, обеспечивающее прочность по наклонным сечениям на действие изгибающего момента.

а) $M \geq M_s + M_{sw}$.

б) $M \leq M_s + M_{sw}$.

в) $M \leq M_s - M_{sw}$.

7. Какие конструктивные требования по армированию железобетонных элементов поперечными стержнями?
8. Дайте характеристику параметрам: c , c_0 , q_{sw} , R_{sw} , s , Q_b , Q_{sw} .
9. 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 300мм.
 - в) Если обеспечена прочность элемента по наклонному сечению.
10. Какие требования к соотношению диаметров поперечной и продольной арматуры в сварных каркасах?
 - а) диаметр поперечной арматуры не менее 0.25 диаметра продольной.
 - б) диаметр поперечной арматуры не менее 6мм.
 - в) диаметр поперечной арматуры выбирается из условий свариваемости.
11. Назначение отгибов. Их роль в сопротивлении разрушению.
12. Покажите эскиз плоского сварного каркаса, объемного вязанного каркаса.
13. Покажите схему усилий в расчетных сечениях при определении прочности наклонных сечений.
14. Какая арматура может быть использована в качестве поперечной?
 - а) любая.
 - б) А240.
 - в) А240, А300, А400, А500, В500.
15. Почему поперечную арматуру называют хомутами?

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. 1). Поэтому расчет по прочности железобетонного элемента производят на действие изгибающего момента (по нормальным сечениям) и поперечной силы (по наклонным сечениям). К изгибаемым элементам относятся плиты перекрытий, балки, консоли и т.п.

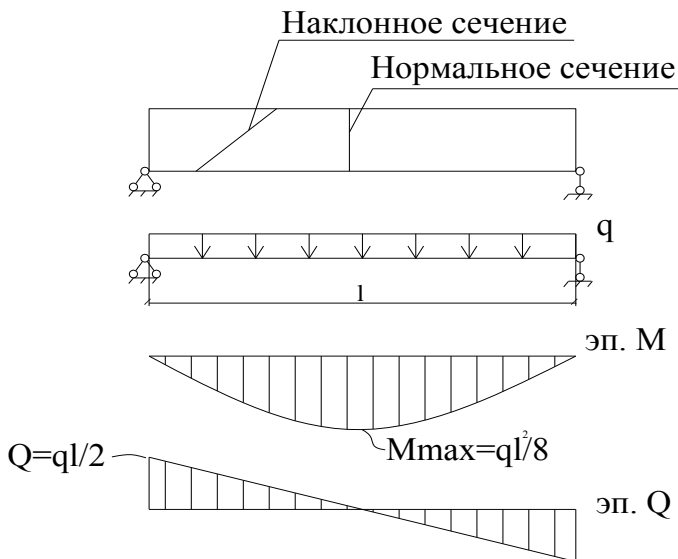


Рис. 1. Изгибаемый элемент.

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).

Необходимость выполнения расчетов по подбору арматуры определяется двумя условиями:

- конструктивными (в соответствии с п. 5.18 – 5.28[2]), по которым уточняется необходимость установки поперечной арматуры по конструктивным соображениям;
- условие прочности бетонного сечения элемента $Q \leq 0,5R_{bt}bh_0$. При выполнении условия необходимо руководствоваться п. 5.20 -5.21 [2], при невыполнении условия поперечная арматура устанавливается по расчету (см. блок-схему 1 - 3).

Минимальный диаметр поперечной арматуры для сварных каркасов принимается из условия свариваемости, для вязаных каркасов по п. 5.20[2].

Расчет элементов по наклонным сечениям должен обеспечить прочность:

- по полосе между наклонными сечениями (блок-схема 1);
- на действие поперечной силы по наклонному сечению (блок-схема 2);
- на действие изгибающего момента по наклонному сечению (блок-схема 3).

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

Схема усилий в полосе между наклонными сечениями представлена на рис.2.

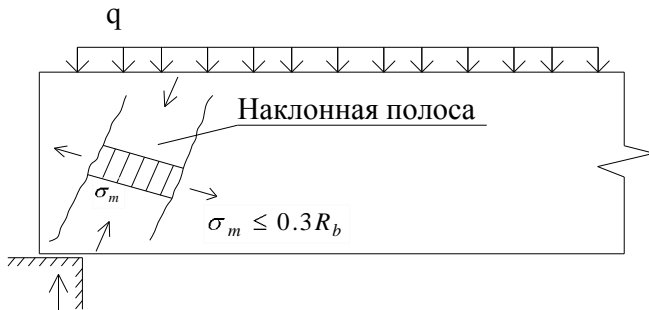
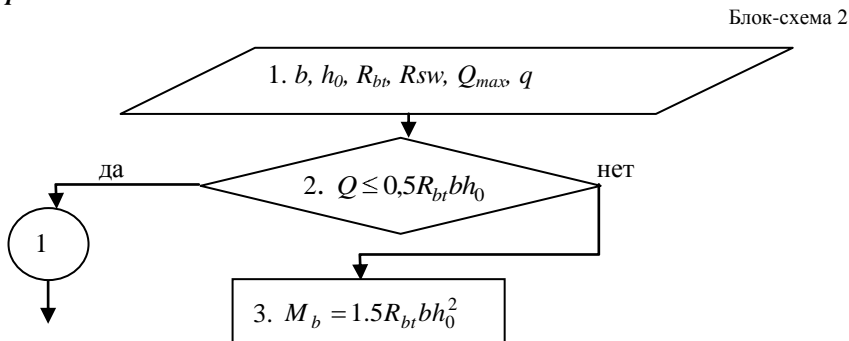
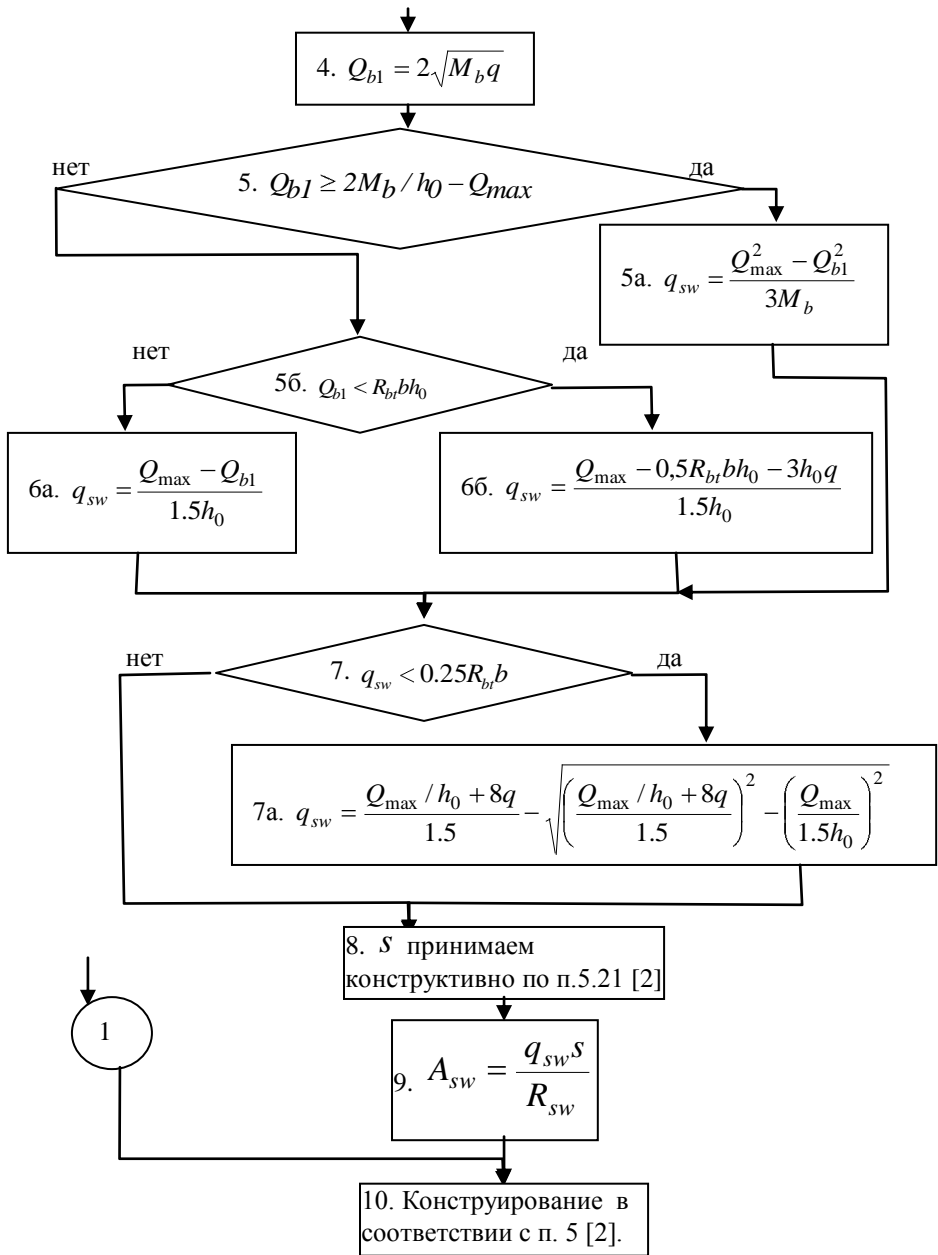


Рис.2. Схема усилий в наклонной полосе.



- **Расчет на действие поперечной силы по наклонным сечениям представлен в блок-схеме2:**





- **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.3.

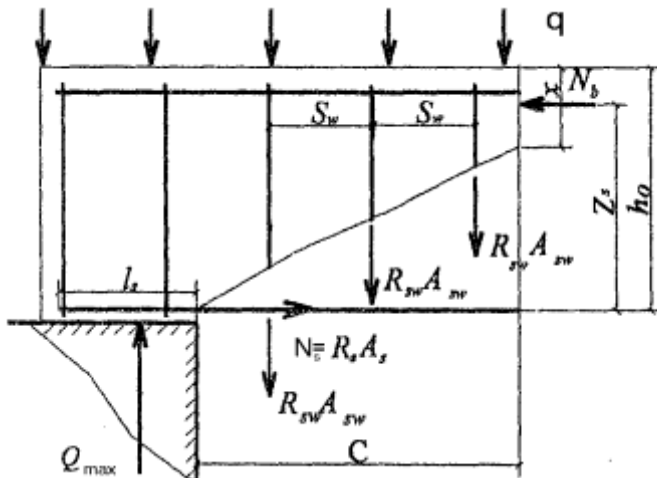


Рис. 3. Схема усилий в наклонном сечении при расчете его по изгибающему моменту.

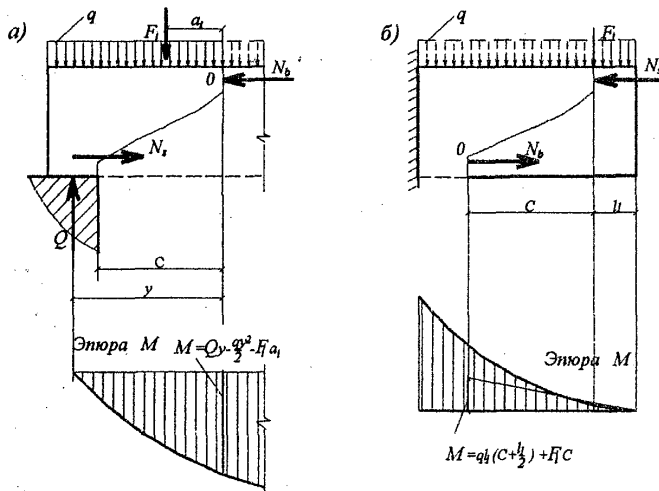
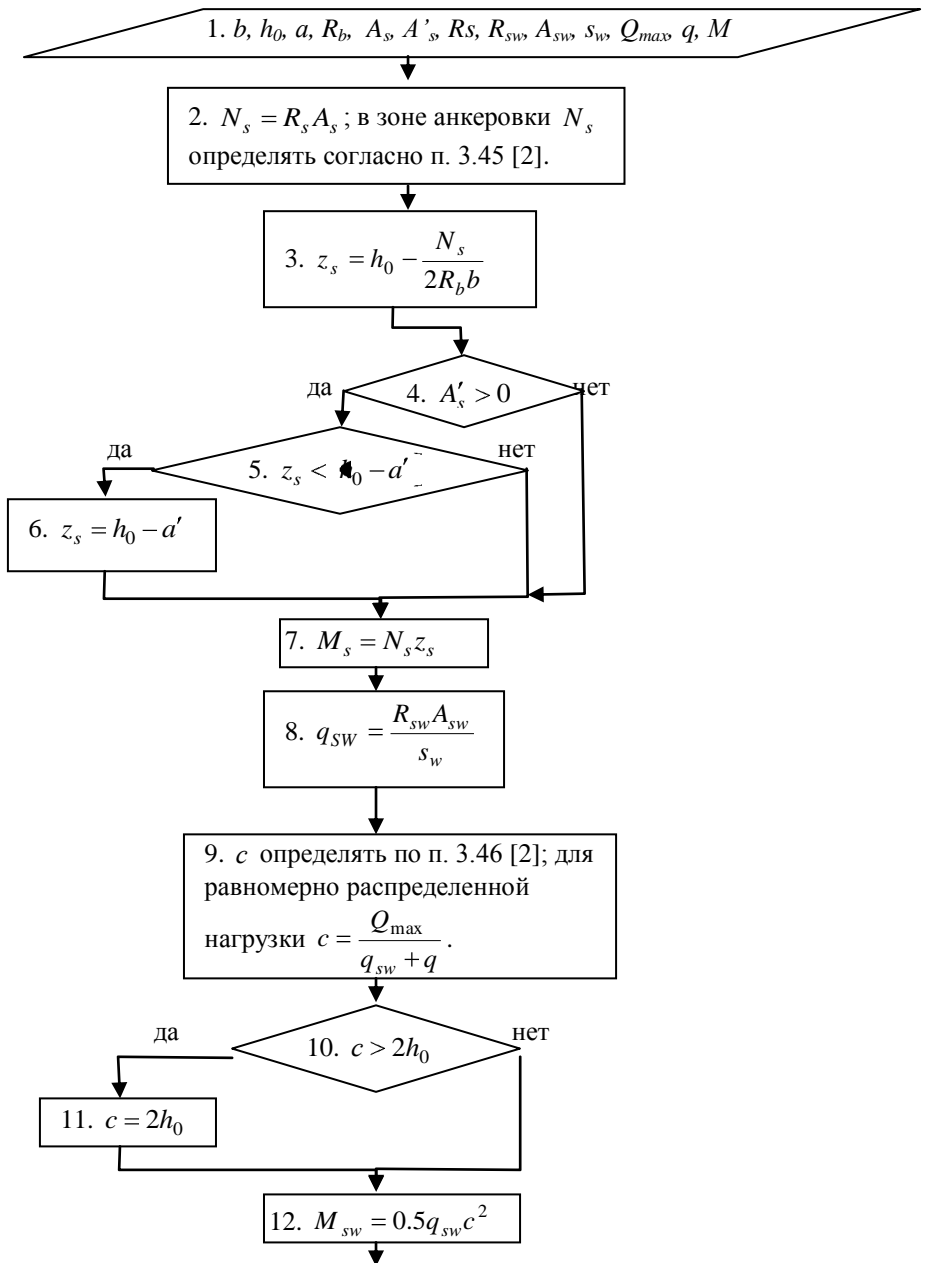
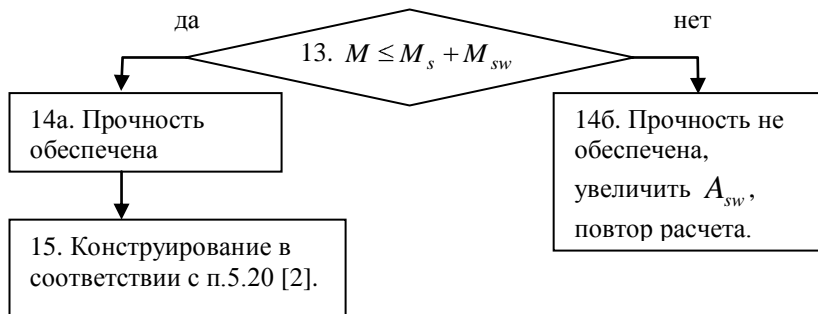


Рис. 4. Определение расчетного значения момента при расчете наклонного сечения, а) для свободно опертой балки, б) для консоли.

Расчет изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие изгибающего момента производим по блок-схеме 3.





Пример расчета 1.

- ✓ Расчет элемента по полосе между наклонными сечениями. Расчет ведем по блок-схеме 1.

1. Характеристики бетона и арматуры. Бетон тяжелый, класса В25, $R_b = 14.5 \text{ МПа}$, $R_{bt} = 1.05 \text{ МПа}$. Поперечная арматура класса А-240, $R_{sw} = 170 \text{ МПа}$. Продольные стержни из арматуры класса А300 $R_s = 355 \text{ МПа}$ ($A_s = 804 \text{ мм}^2$ 4 ф 16, $A'_s = 226 \text{ мм}^2$ 2 ф 12). Геометрические размеры изгибаемого железобетонного элемента: $b=250 \text{ мм}$, $h_0=465 \text{ мм}$, $a=35 \text{ мм}$, $a'=30 \text{ мм}$. Перерезывающая сила $Q=200 \text{ кН}$, равномерно распределенная нагрузка $q=25 \text{ кН/м}$.

2. $0.3 \cdot 14.5 \cdot 250 \cdot 465 = 505,69 \cdot 10^3 \text{ Н} = 505,69 \text{ кН} > Q = 200 \text{ кН}$ - прочность обеспечена.

- ✓ Расчет элемента на действие поперечной силы по наклонному сечению. Расчет ведем по блок-схеме 2.

2. $Q = 200 \text{ кН} > 0,5 \cdot 1,05 \cdot 250 \cdot 465 = 61031 \text{ Н} = 61,03 \text{ кН}$ - требуется установка поперечной арматуры по расчету.

3. $M_b = 1.5 \cdot 1,05 \cdot 250 \cdot 465^2 = 85,14 \cdot 10^6 \text{ Нмм} = 85,14 \text{ кНм}$.

4. $Q_{b1} = 2 \cdot \sqrt{85,14 \cdot 25} = 92,27 \text{ кН}$.

5. $Q_{b1} = 92,27 \text{ кН} < 2 \cdot 85,14 / 0,465 - 200 = 166,19 \text{ кН}$.

5б. $Q_{b1} = 92,27 < 1,05 \cdot 250 \cdot 465 = 122,06 \text{ кН}$.

6б. $q_{sw} = \frac{200 \cdot 10^3 - 0,5 \cdot 1,05 \cdot 250 \cdot 465 - 3 \cdot 465 \cdot 25}{1,5 \cdot 465} = 149,24 \text{ кН/м}$.

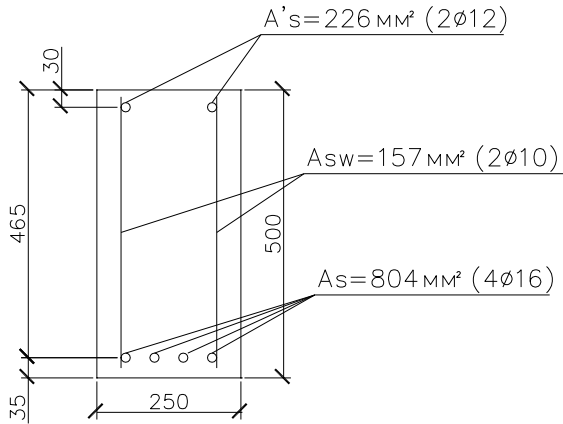
7. $q_{sw} = 149,24 \text{ кН/м} > 0,25 \cdot 1,05 \cdot 150 = 39,38 \text{ кН/м}$.

8. $s = 150 \text{ мм}$ принимаем конструктивно по п.5.21 [2].

9. $A_{sw} = \frac{149,24 \cdot 150}{170} = 131,68 \text{ мм}^2$, принимаем 2 о 10 $A_{sw} = 157 \text{ мм}^2$.

$\Delta = \frac{157 - 131,68}{131,68} \cdot 100\% = 19\%$.

10. Конструирование.



✓ Расчет элемента на действие изгибающего момента по наклонному сечению. Расчет ведем по блок-схеме 3.

1. Характеристики бетона и арматуры, геометрические размеры и нагрузки см. п. подбор сечения арматуры.

$$2. N_s = 355 \cdot 804 = 285420H = 285,42кН.$$

$$3. z_s = 465 - \frac{285420}{2 \cdot 14,5 \cdot 250} = 425мм.$$

$$4. A'_s > 0.$$

$$5. z_s = 425мм < 465 - 30 = 435мм.$$

$$7. M_s = 285420 \cdot 425 = 121,3 \cdot 10^6 Нмм = 121,3кНм.$$

$$8. q_{sw} = \frac{170 \cdot 157}{150} = 177,93H / мм.$$

$$9. c = \frac{200000}{177,93 + 25} = 985мм > 2 \cdot 470 = 940мм. \text{ Принимаем } c = 940мм.$$

$$12. M_{sw} = 0,5 \cdot 177,93 \cdot 940^2 = 78,61 \cdot 10^6 Нмм = 78,61кНм.$$

$$13. M = Qc - \frac{qc^2}{2} = 200 \cdot 940 - \frac{25 \cdot 940^2}{2} = 176,96 \cdot 10^6 Нмм = 176,96кНм.$$

$M = 176,96кНм < 121,3 + 78,61 = 199,9кНм$ - прочность сечения по изгибающему моменту обеспечена.

• **Решение обратной задачи** – проверка прочности наклонных сечений. Ход решения задачи аналогичен приведенному в блок-схемах 2 и 3, но при известных s и A_{sw} . Поэтому фактически расчет сводится к проверке условий прочности:

- ✓ по полосе между наклонными сечениями;
- ✓ по наклонному сечению на действие поперечной силы;
- ✓ по наклонным сечениям на действие изгибающего момента.

По результатам сравнения несущей способности с усилиями от внешней нагрузки делают вывод о достаточной или недостаточной прочности элемента. В последнем случае необходимо принимать соответствующие меры:

- ✓ не допускать действие предполагаемой разрушающей нагрузки;
- ✓ произвести усиление элемента.

Схема усилий в наклонном сечении элементов с хомутами при расчете на действие поперечной силы представлена на рис.5, последовательность расчета в блок-схеме 4.

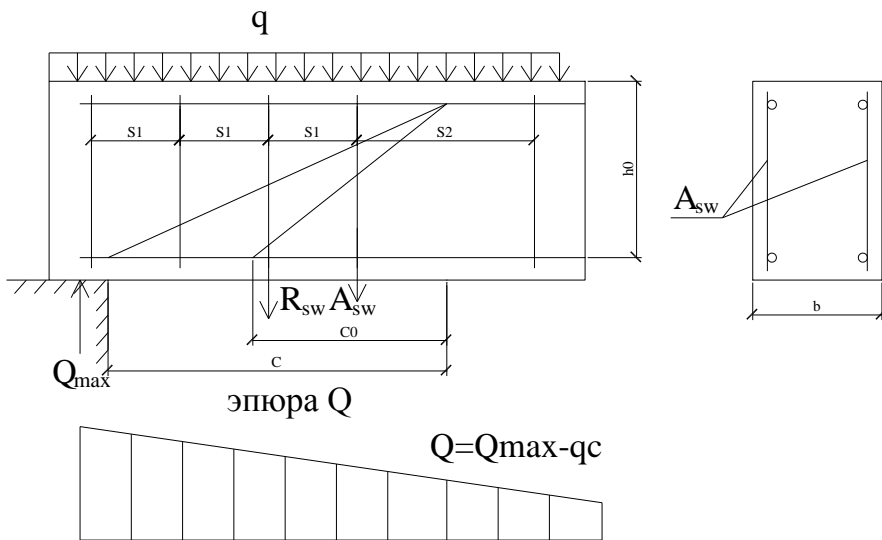
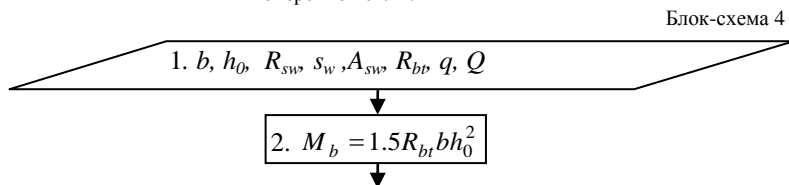
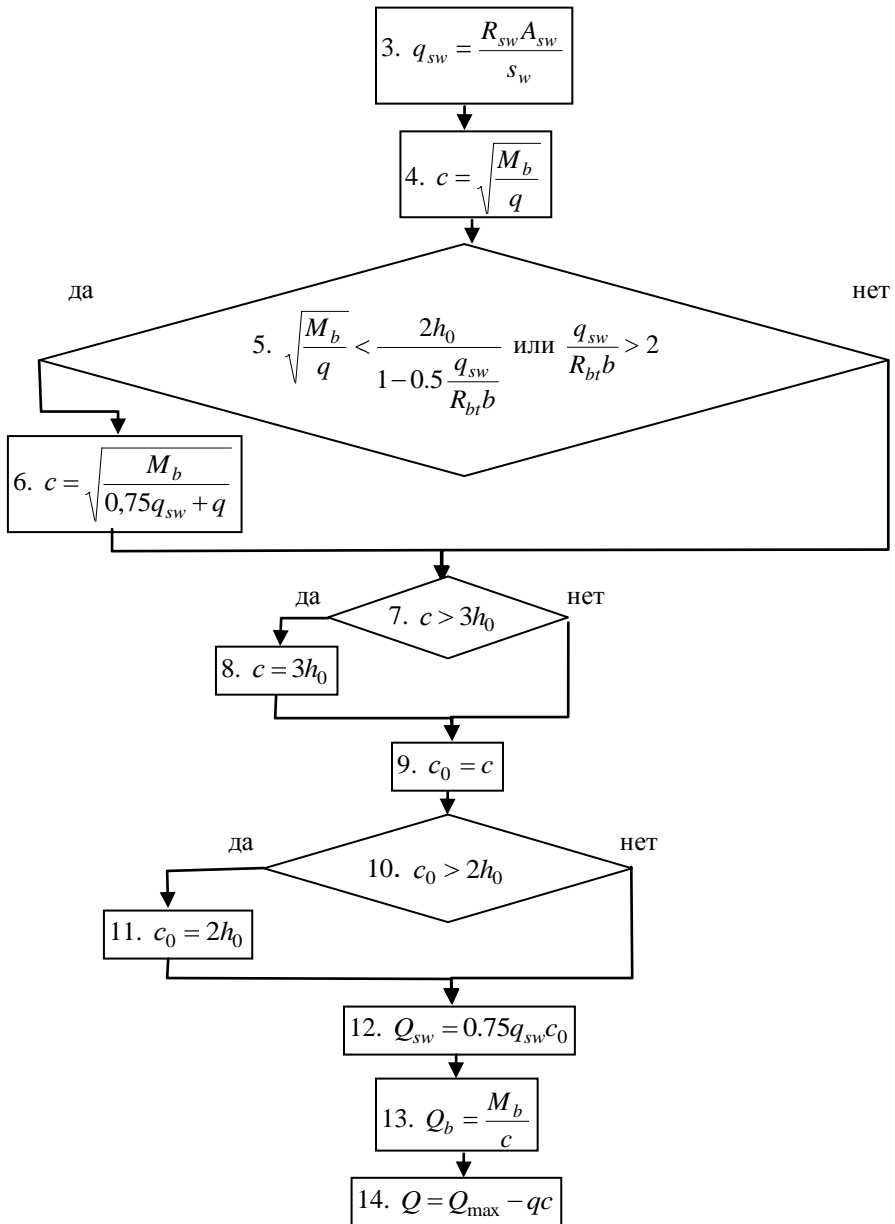
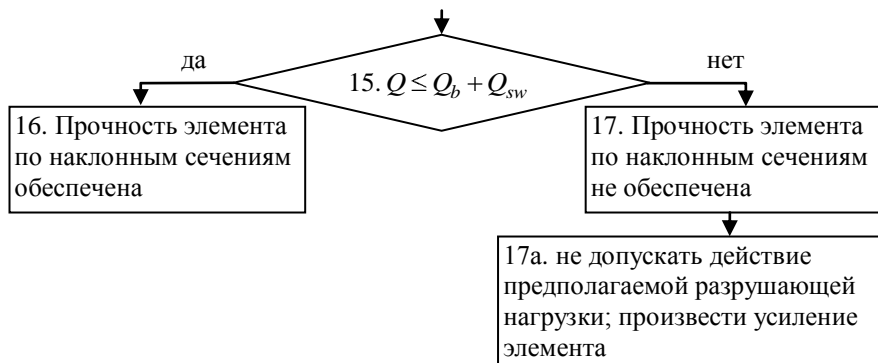


Рис.5. Схема усилий в наклонном сечении элементов с хомутами при расчете на действие поперечной силы.







Пример расчета 2. Проверить прочность наклонного сечения по поперечной силе. Расчет ведем по блок-схеме 4.

1. Исходные данные см. пример расчета 1.

$$2. M_b = 1.5 \cdot 1.05 \cdot 250 \cdot 465^2 = 85,14 \cdot 10^6 \text{ Нмм} = 85,14 \text{ кНм}.$$

$$3. q_{sw} = \frac{170 \cdot 157}{150} = 177,93 \text{ Н / мм}.$$

$$4. c = \sqrt{\frac{85,14 \cdot 10^6}{25}} = 1845 \text{ мм}.$$

$$5. 1845 \text{ мм} > \frac{2 \cdot 465}{1 - 0.5 \frac{177,93}{1,05 \cdot 250}} = 1406 \text{ мм}.$$

$$7. c = 1845 \text{ мм} > 3h_0 = 1395 \text{ мм}. \text{ Принимаем } c = 1395 \text{ мм}.$$

$$9. c_0 = 1395 \text{ мм} > 2h_0 = 930 \text{ мм}, \text{ принимаем } c_0 = 930 \text{ мм}.$$

$$12. Q_{sw} = 0.75 \cdot 177,93 \cdot 930 = 124106 \text{ Н} = 124,1 \text{ кН}.$$

$$13. Q_b = \frac{85,14 \cdot 10^6}{1395} = 61032 \text{ Н} = 61,03 \text{ кН}.$$

$$14. Q = 200 - 25 \cdot 1,395 = 165,12 \text{ кН}.$$

$$15. Q = 165,12 \text{ кН} < 124,1 + 61,03 = 185,13 \text{ кН} - \text{прочность элемента по}$$

наклонным сечениям обеспечена.

Литература.

1. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М.: ГУП НИИЖБ Госстроя России.

2. 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.

3. Железобетонные и каменные конструкции: Учеб. для строит. Спец. вузов. В.М. Бондаренко. – М.: Высш. шк.,2002. – 876с.

Варианты заданий

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