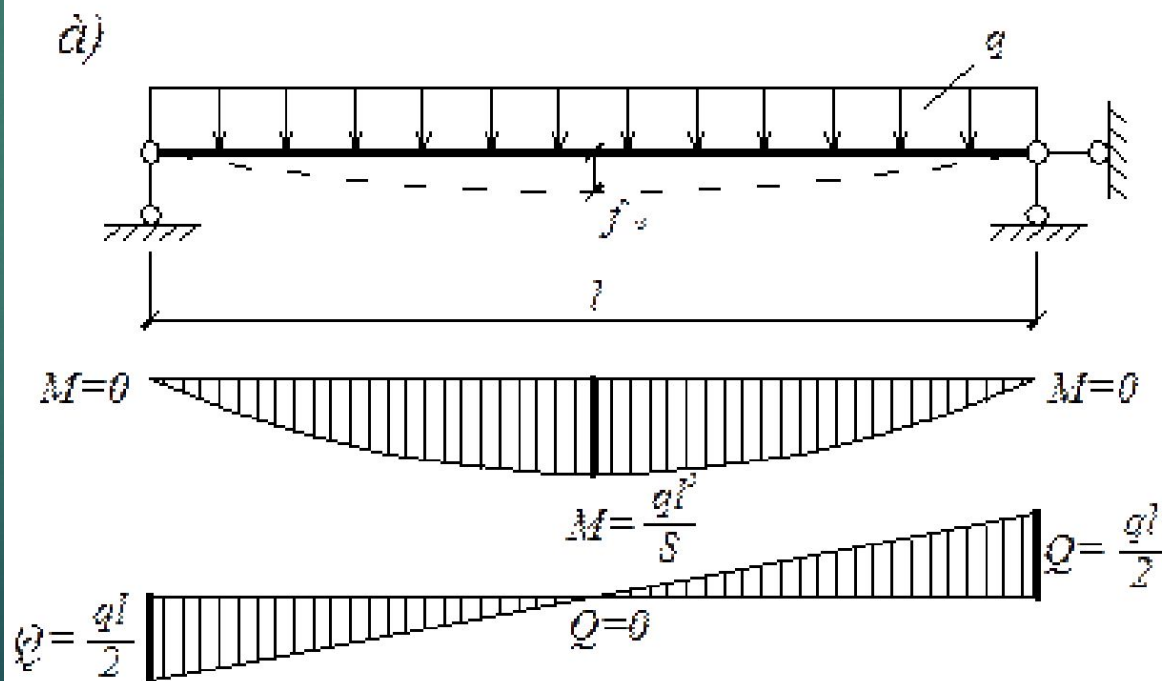


Изгибаемые железобетонные элементы



Основные расчётные требования

Расчеты бетонных и железобетонных конструкций следует производить по предельным состояниям, включающим:

- ▶ **предельные состояния первой группы** по непригодности к эксплуатации вследствие потери несущей способности, включают расчеты по прочности ;
- ▶ **предельные состояния второй группы** по непригодности к нормальной эксплуатации вследствие образования или чрезмерного раскрытия трещин, появления недопустимых деформаций и др., включают расчеты по раскрытию трещин и по деформациям.

Определение усилий и деформаций от различных воздействий в конструкциях и в образуемых ими системах зданий и сооружений следует производить с учетом возможного образования трещин и неупругих деформаций в бетоне и арматуре, а также с учетом в необходимых случаях деформированного состояния конструкций перед разрушением .

Конструктивные особенности изгибаемых элементов

Наиболее распространенные изгибаемые элементы железобетонных конструкций:

ПЛИТЫ

балки

- Плитами называют плоские элементы, толщина которых значительно меньше длины и ширины.
- Балками называют линейные элементы, длина которых значительно больше поперечных размеров А и В.
- Плиты и балки могут быть однопролетными и многопролетными.

Различают :

пустотные,

ребристые,

сплошные.

По способу изготовления:

сборные,

монолитные,

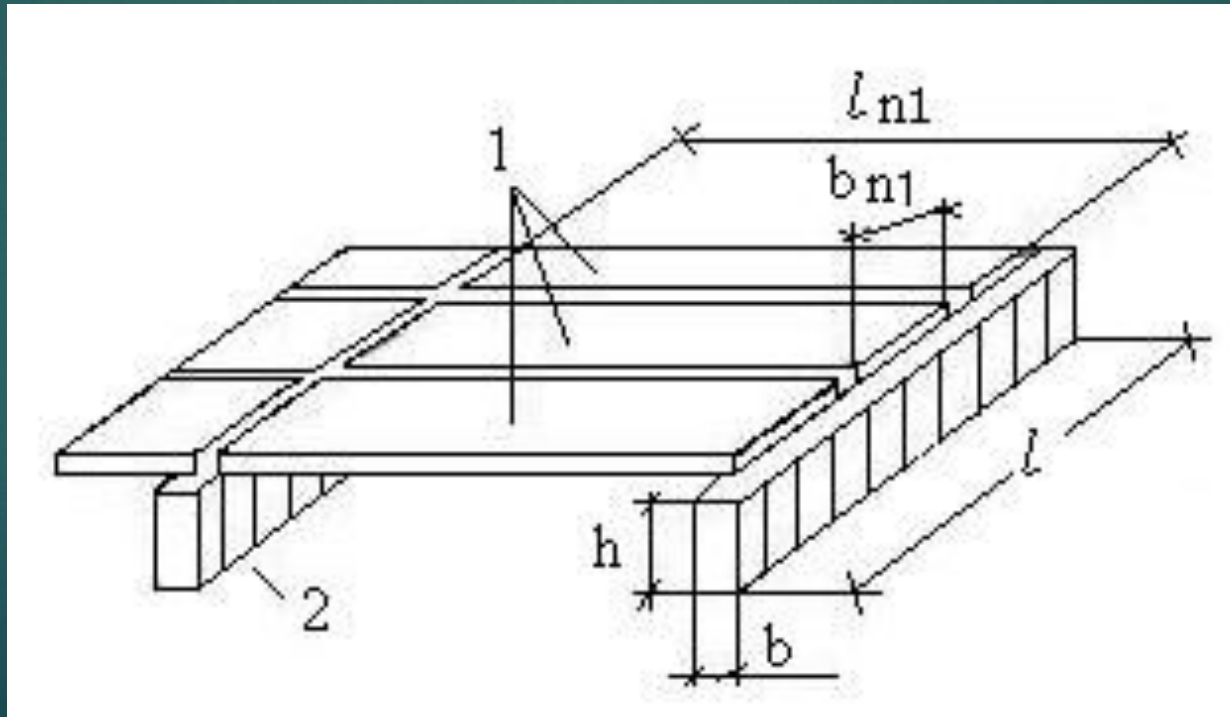
сборно-монолитные.

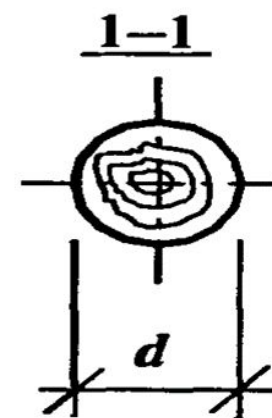
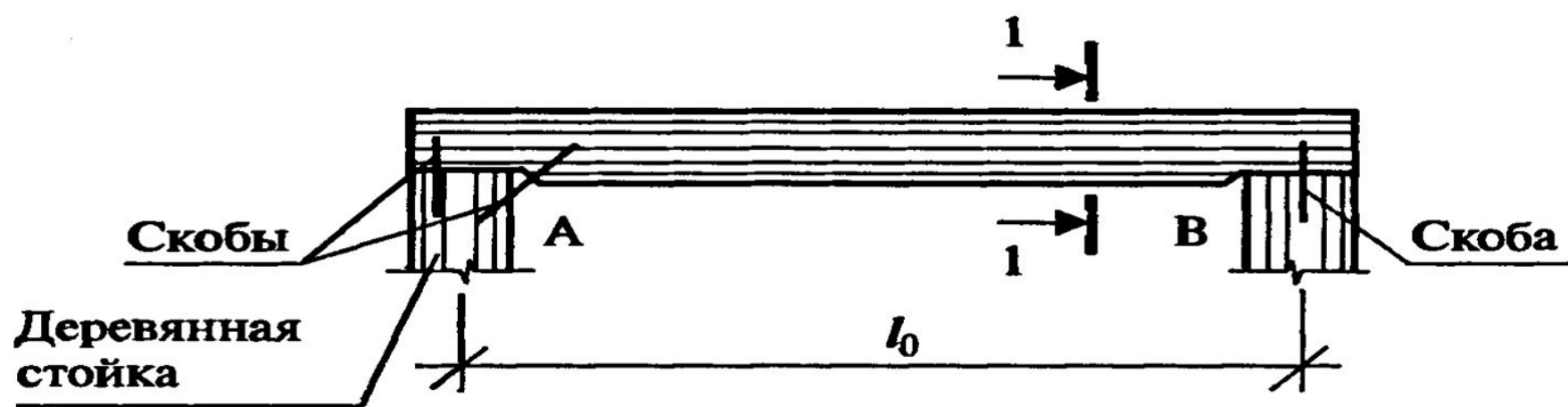
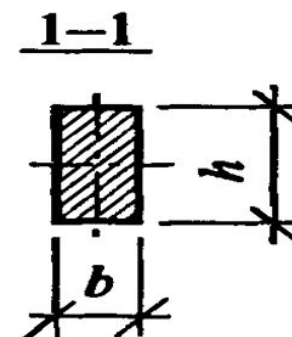
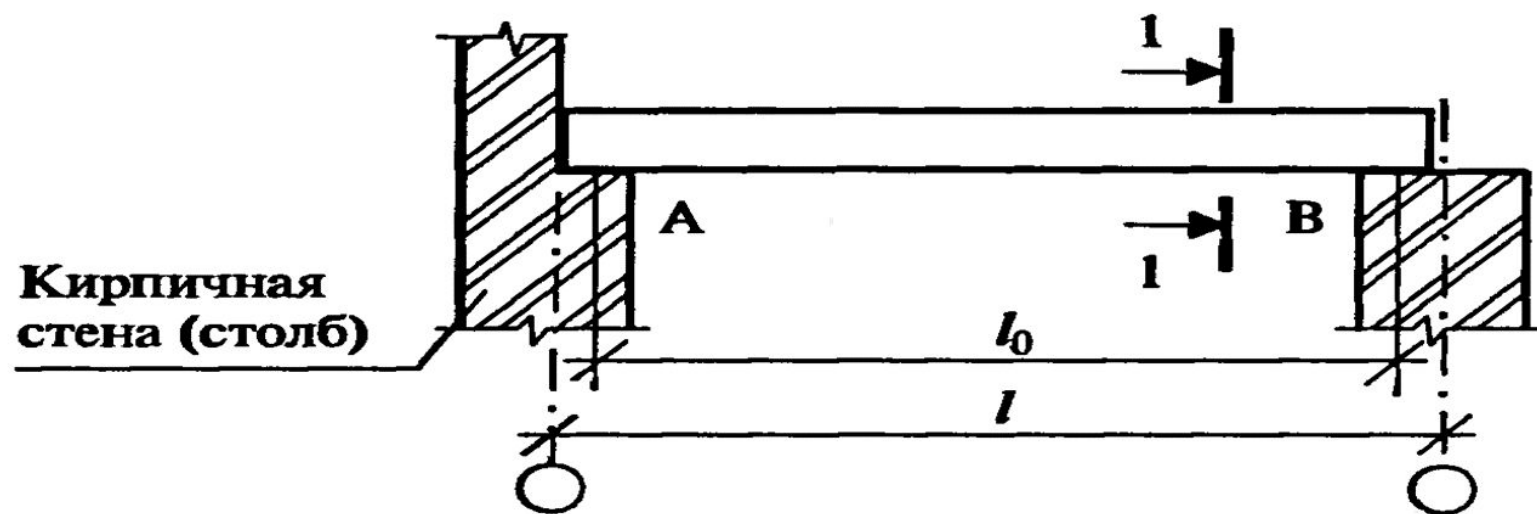


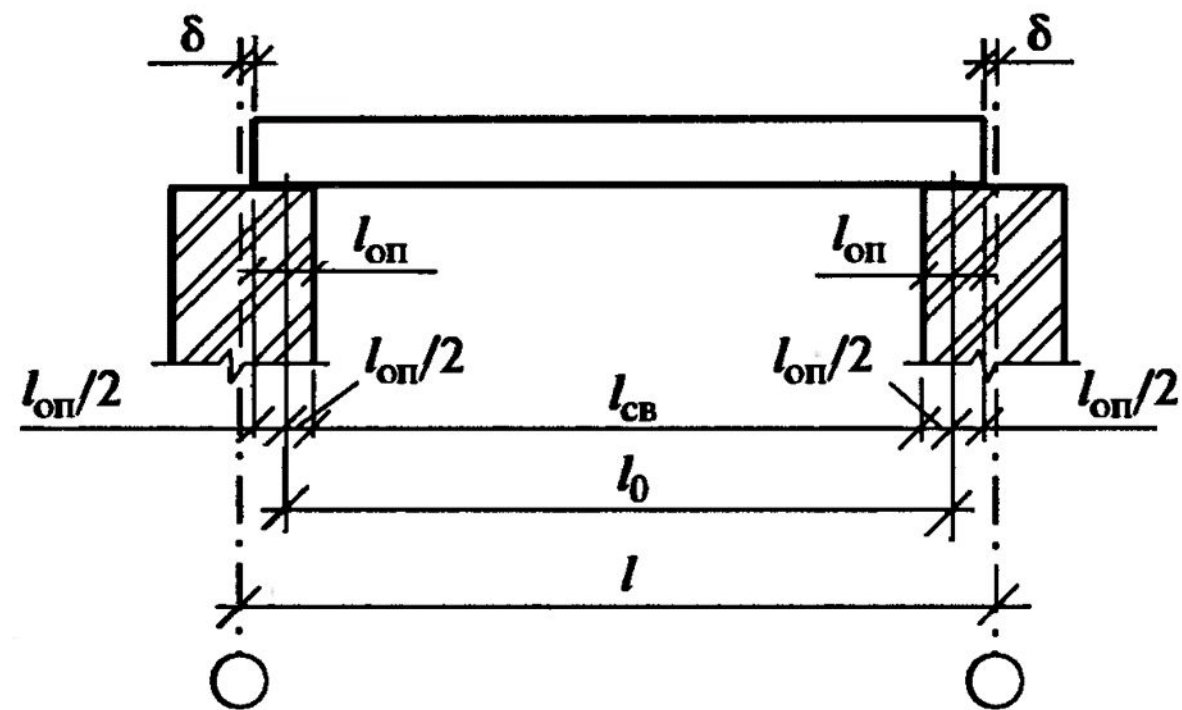
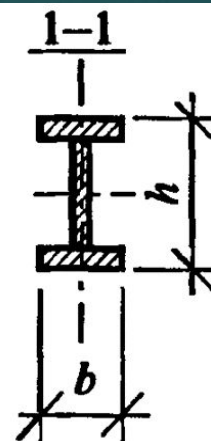
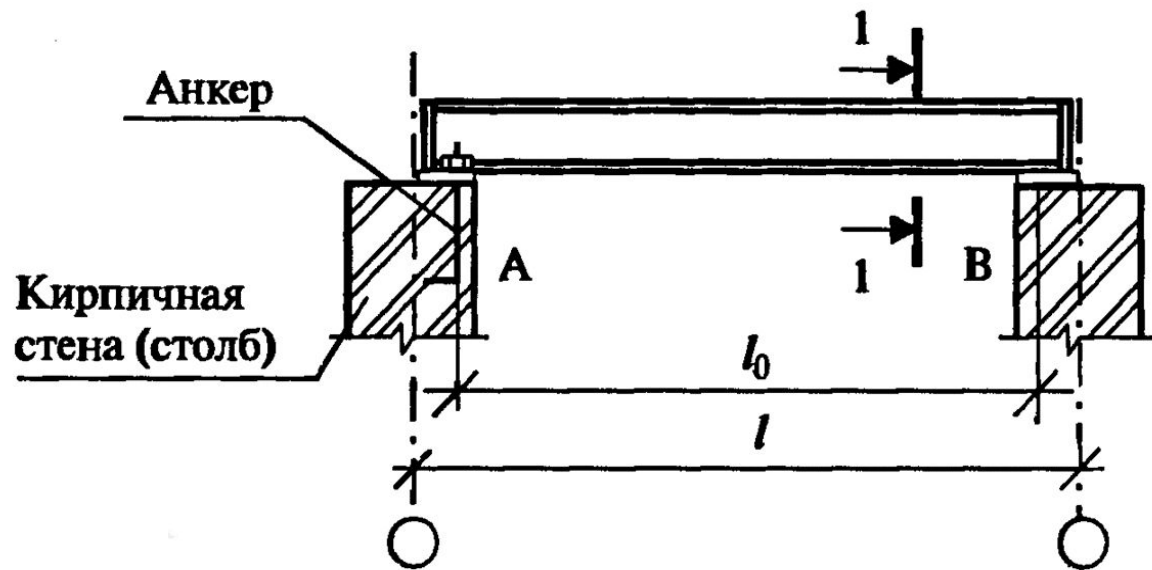
Плиты в монолитных конструкциях делают толщиной 50—100 мм,
В сборных — междуэтажных-50мм; для производственных – 60мм.

Сборные плиты перекрытия опираются на ригели прямоугольной формы сечения поверху или на полки ригеля тавровой формы.

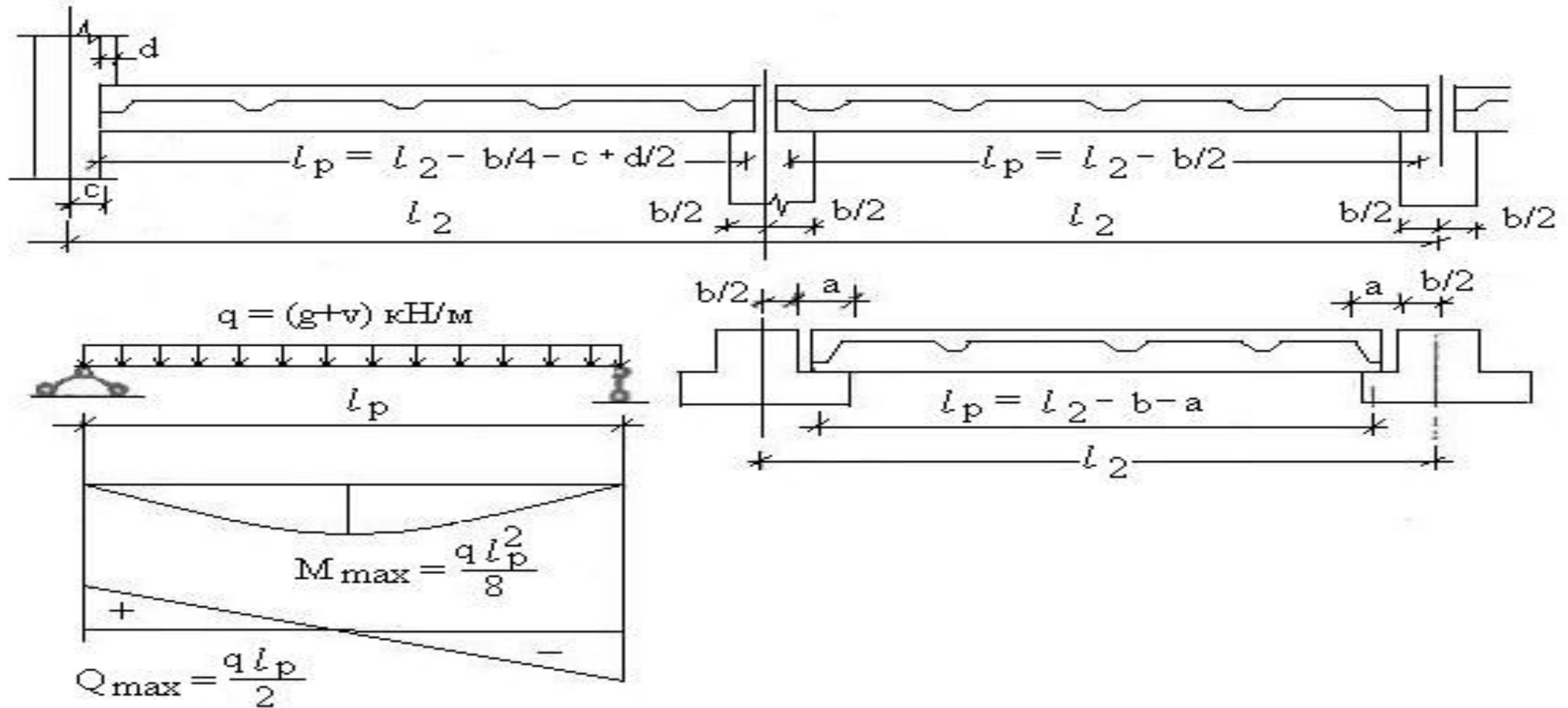
С точки зрения статического расчета все сборные плиты рассматриваются как свободно опертые однопролетные балки, нагруженные погонной равномерно распределенной нагрузкой (рис.) За расчетный пролет плит принимается расстояние между серединами площадок ее опирания.







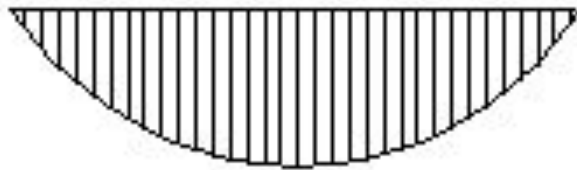
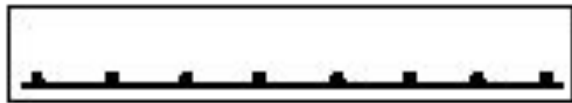
Расчётная схема сборной плиты перекрытия



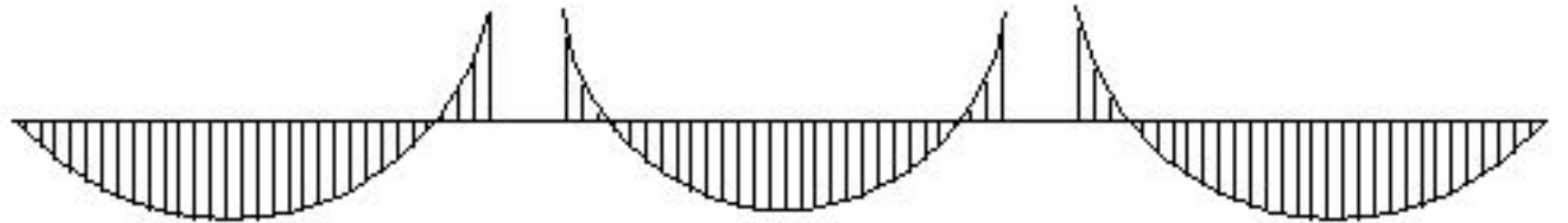
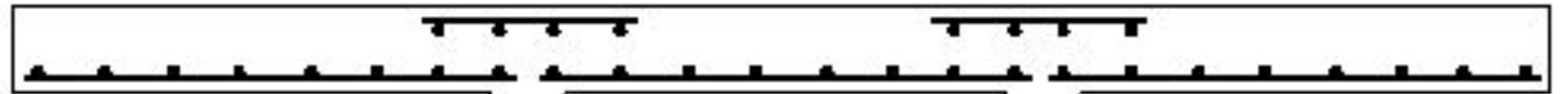
ПЛИТЫ

- ▶ Армируют плиты сварными сетками. Сетки укладывают в плитах так, чтобы стержни их рабочей арматуры располагались вдоль пролета и воспринимали растягивающие усилия.
- ▶ Стержни рабочей арматуры принимают диаметром 3—10 мм, располагают их на расстоянии (с шагом) 100—200 мм один от другого.
- ▶ Поперечные стержни сеток (распределительную арматуру) устанавливают для обеспечения проектного положения рабочих стержней. Сечение стержней арматуры принимают меньшего диаметра - не менее 10 % сечения рабочей арматуры; размещают их с шагом 250—300 мм, но не реже чем через 350 мм.
- ▶ Защитный слой бетона для рабочей арматуры принимают не менее 10 мм, в особо толстых плитах (толще 100 мм) не менее 15 мм.
- ▶ Для распределительной арматуры толщина защитного слоя принимается не менее диаметра арматуры

Армирование плит



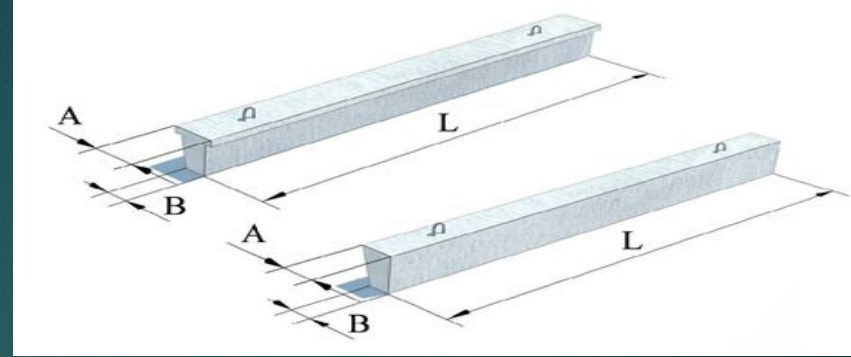
Однопролётная
плита



Многопролётная монолитная
плита

Железобетонные балки

Классификация



прямоугольного, таврового, двутаврового, трапециевидного сечения.

Высота балок A составляет $1/10$ часть пролета в зависимости от нагрузки и типа конструкции.

В целях унификации высота балок назначается кратной 50 мм, если она не более 600 мм, и кратной 100 мм при больших размерах.

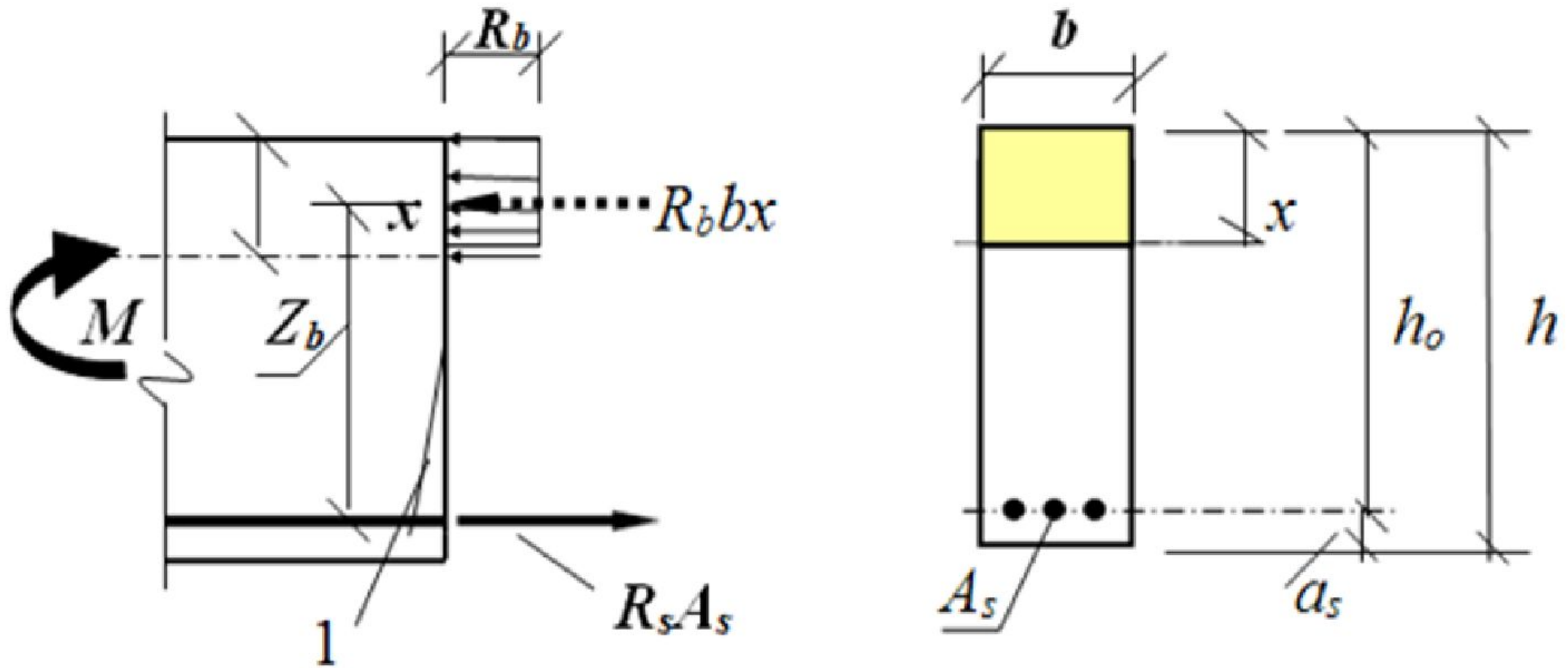
Ширину прямоугольных поперечных сечений принимают в пределах $(0,3—0,5) h$, а именно 100, 120, 150, 200, 220, 250 мм и далее кратной 50 мм, из них предпочтительнее размеры 150, 200 мм и далее кратные 100.

Для снижения расхода бетона ширину балок назначают наименьшей.

В поперечном сечении балки рабочую арматуру размещают в растянутой зоне сечения в один или два ряда.

Расстояние в свету между стержнями продольной арматуры, не менее большего диаметра стержней.

Расчёт прочности изгибаемых элементов прямоугольного сечения с одиночным армированием



Основные обозначения

- ▶ h -высота сечения
- ▶ b -ширина сечения
- ▶ a -толщина защитного слоя
- ▶ h_o -рабочая высота $h_o = h - a$
- ▶ x – высота сжатой зоны бетона
- ▶ $A_s R_s$ - результирующие усилия в растянутой арматуре
- ▶ $A_b R_b$ - результирующие усилия в сжатой зоне бетона
- ▶ z_b - плечо внутренней пары сил $z_b = h_o - \frac{x}{2}$
- ▶ A_b - площадь сжатой зоны бетона
- ▶ M –внешний момент

УСЛОВИЯ расчёта

- Для того чтобы балка находилась в равновесии необходимо, чтобы внешний момент не превышал внутренних усилий.
- При расчёте на прочность изгибающий момент от внешней нагрузки, должен быть меньше несущей способности сечения.

$$M \leq M_{\text{сеч}}$$

- Для прямоугольных сечений площадь сжатой зоны бетона

$$A_B = b \cdot x$$

- Равнодействующие сжимающие усилия в бетоне

$$N_B = R_B \cdot b \cdot x$$

- Равнодействующие растягивающие усилия в арматуре

$$N_S = R_S \cdot A_S$$

Алгоритм расчёта

1. Уравнение равновесия сил

$$A_B \cdot R_B = A_S \cdot R_S \quad \text{НО Т.К.} \quad A_B = b \cdot x \rightarrow$$

$$A_S \cdot R_S = R_B \cdot b \cdot x$$

2. Равнодействующая сжимающих усилий в бетоне приложена в центре тяжести прямоугольной эпюры напряжений и плечо внутренней пары сил $z_B = h_0 - 0,5 \cdot x$ тогда условие прочности гласит:

При изгибе в момент разрушения расчётный $M_{\max.} < \Sigma M$ не должен превышать сумму моментов внутренних расчётных усилий в сжатом бетоне и сжатой арматуре, $\rightarrow$ и тогда уравнение моментов проходящих через центр тяжести растянутой арматуры - принимает вид:

$$M \leq A_B \cdot R_B \cdot \left(h_0 - \frac{x}{2} \right)$$

ИЛИ

$$M \leq R_B \cdot b \cdot x \cdot \left(h_0 - \frac{x}{2} \right)$$

3. Уравнение момента относительно оси проходящей через центр результирующей сжатой зоны бетона $M \leq A_B \cdot R_B \cdot (h_o - \frac{x}{2})$

4. Высота сжатой зоны, исходя из уравнения равновесия сил:

$$R_B \cdot B \cdot x = A_S \cdot R_S$$

$$N_B = N_S$$

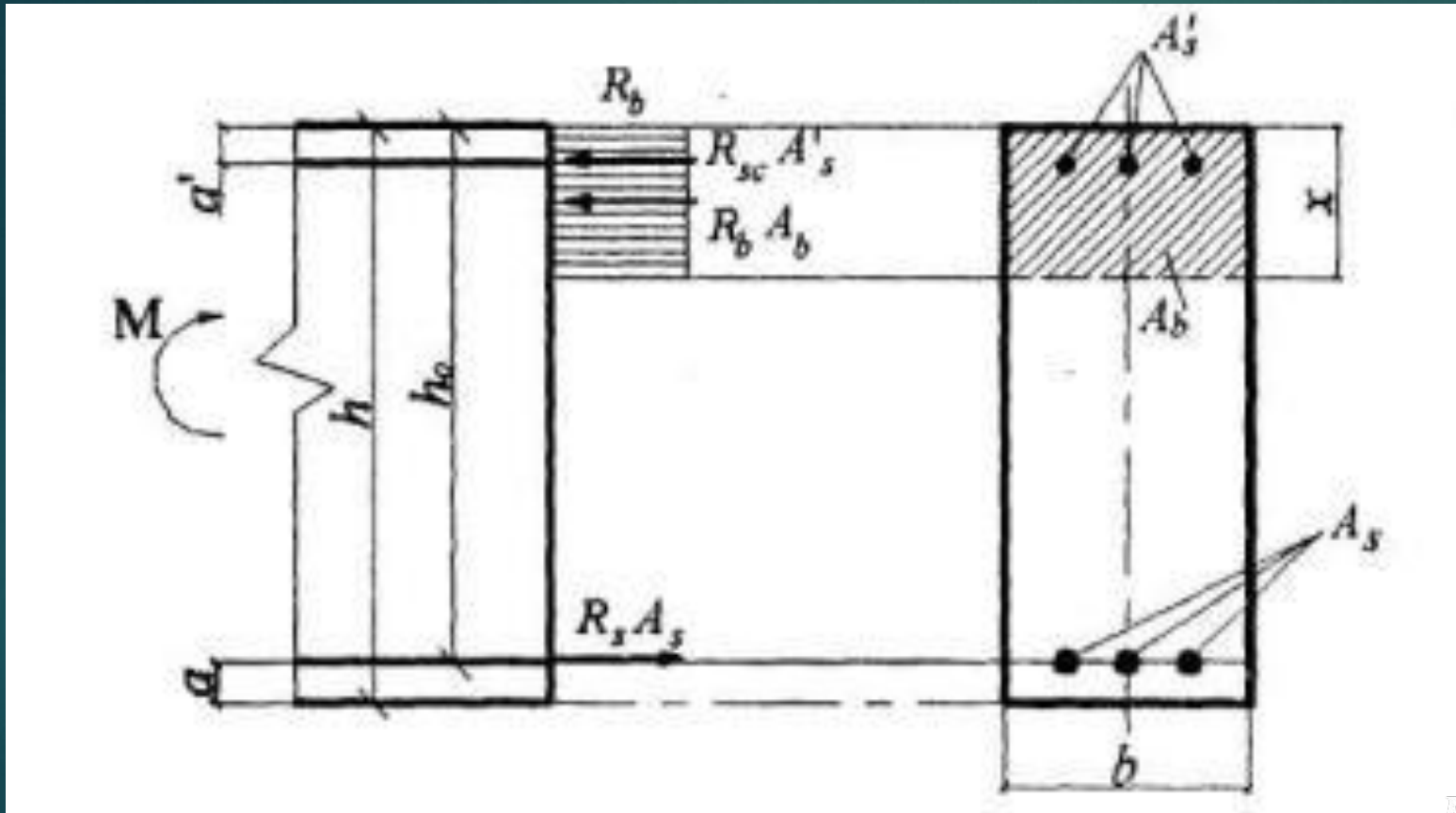
$$x = \frac{A_S \cdot R_S}{R_B \cdot B}$$

если разделить правую и левую часть на $h_o \rightarrow \frac{x}{h_o} = \frac{R_S \cdot A_S}{R_B \cdot B \cdot h_o}$

при этом $\frac{x}{h_o} = \xi$ (кси) - **относительная высота сжатой зоны бетона**

$\frac{A_S}{b \cdot h_o} = \mu$ (мю) - **отношение площади арматуры к площади бетона**

Элементы прямоугольного сечения с двойным армированием



$$M \leq R_s A_s (h_0 - 0,5x)$$

где x -высота сжатой зоны бетона

$$x = \frac{R_s \cdot A_s}{R_b \cdot b}$$

УСЛОВИЕ ДВОЙНОГО армирования

- Если в изгибаемом элементе предусматривается продольная арматура в сжатой (при действии нагрузки) зоне, учитываемая в расчете, то такие элементы называют с двойным армированием.
- В сжатом бетоне арматура деформируется совместно с бетоном вплоть до разрушения в отличие от арматуры, расположенной в растянутом бетоне.
- Следовательно в сжатой зоне невыгодно использовать высокопрочную сталь, так как её прочность не может быть использована.

Необходимость двойного армирования:

- 1. когда несущая способность сжатой зоны бетона недостаточна
- 2. когда сечение с одиночной арматурой (при заданных размерах и классах бетона и арматуры) оказывается переармированным.

Двойное армирование необходимо если:

$$A_o > A_{o \max}$$

Алгоритм расчёта

1. Выписываем недостающие данные R_b R_s R_{sc} h_0

2. Находим
$$A_0 = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_0^2}$$

если $A_0 \leq A_{0 \max}$ - одиночное армирование

если $A_0 > A_{0 \max}$ - двойное армирование и тогда

$A_{0 \max}$ [2]

3. Определяем
$$M_{\max} = A_{0 \max} \cdot R_b \cdot b \cdot h_0^2$$

4. Определяем момент воспринимаемый растянутой и сжатой арматурой
$$M'_s = \mathbf{M} - M_{\max}$$

5. Определяем площадь сжатой арматуры

$$A'_s = \frac{M'_s}{R_{sc} \cdot (h_o - a')}$$

6. Определяем площадь растянутой арматуры

$$A_s = \xi_{max} \cdot b \cdot h_o \cdot \frac{R_b}{R_s} + A'_s \cdot \frac{R_{sc}}{R_s}$$

7. Принимаем по сортаменту диаметр арматуры

$$A_s \text{ и } A'_s$$

Расчёт прямоугольного сечения по таблицам

Дано:

$b; h; a; M$

В-класс бетона

А-класс арматуры

Определить:

$A_s - ?$

Решение:

1 Выписываем недостающие данные

R_b -

R_s -

$h_o = h - a$

2 Определяем $A_o = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_o^2 \cdot \gamma_b}$

3 По таблице определяем **η -ЭТТА**

4 Определяем $A_s = \frac{M}{\eta \cdot R_b \cdot h_o}$

5 По сортаменту подбираем необходимый $\emptyset$ арматуры

ξ	$\eta(\zeta)$	$A_0(\alpha_m)$	ξ	$\eta(\zeta)$	$A_0(\alpha_m)$
0,01	0,995	0,01	0,37	0,815	0,301
0,02	0,99	0,02	0,38	0,81	0,309
0,03	0,985	0,03	0,39	0,805	0,314
0,04	0,98	0,039	0,4	0,8	0,32
0,05	0,975	0,048	0,41	0,795	0,326
0,06	0,97	0,058	0,42	0,79	0,332
0,07	0,965	0,067	0,43	0,785	0,337
0,08	0,96	0,077	0,44	0,78	0,343
0,09	0,955	0,085	0,45	0,775	0,349
0,1	0,95	0,095	0,46	0,77	0,354
0,11	0,945	0,104	0,47	0,765	0,359
0,12	0,94	0,113	0,48	0,76	0,365
0,13	0,935	0,121	0,49	0,755	0,37
0,14	0,93	0,13	0,5	0,75	0,375
0,15	0,925	0,139	0,51	0,745	0,38
0,16	0,92	0,147	0,52	0,74	0,385
0,17	0,915	0,155	0,53	0,735	0,39
0,18	0,91	0,164	0,54	0,73	0,394
0,19	0,905	0,172	0,55	0,725	0,399
0,2	0,9	0,18	0,56	0,72	0,403
0,21	0,895	0,188	0,57	0,715	0,408
0,22	0,89	0,196	0,58	0,71	0,412
0,23	0,885	0,203	0,59	0,705	0,416
0,24	0,88	0,211	0,6	0,7	0,42
0,25	0,875	0,219	0,61	0,695	0,424
0,26	0,87	0,226	0,62	0,69	0,428
0,27	0,865	0,236	0,63	0,685	0,432
0,28	0,86	0,241	0,64	0,68	0,435
0,29	0,855	0,248	0,65	0,675	0,439
0,3	0,85	0,255	0,66	0,67	0,442
0,31	0,845	0,262	0,67	0,665	0,446
0,32	0,84	0,269	0,68	0,66	0,449
0,33	0,835	0,275	0,69	0,655	0,452
0,34	0,83	0,282	0,7	0,65	0,455
0,35	0,825	0,289			
0,36	0,82	0,295			

Коэффициент условной рас- порки бетона η_{bl}	Класс рас- порки арма- туры	Обозначение	Значения ξ , ξ_R , A_R и s при проектных марках бетона										
			M 150	M 200	M 250	M 300	M 350	M 400	M 450	M 500	M 600	M 700	M 800
0,85	Любой	ξ_b	0,802	0,790	0,774	0,758	0,746	0,73	0,718	0,702	0,682	0,654	0,638
		ξ_R	0,677	0,668	0,644	0,625	0,612	0,594	0,581	0,563	0,542	0,513	0,496
		A_R	0,448	0,443	0,437	0,43	0,425	0,418	0,412	0,405	0,395	0,381	0,373
	В-I	s	5,43	5,22	4,96	4,73	4,57	4,37	4,23	4,06	3,87	3,63	3,5
		ξ_R	0,685	0,671	0,652	0,634	0,62	0,602	0,589	0,572	0,55	0,521	0,504
		A_R	0,45	0,446	0,440	0,433	0,428	0,421	0,416	0,408	0,399	0,385	0,377
		s	5,86	5,63	5,36	5,1	4,93	4,72	4,57	4,39	4,18	3,91	3,78
	А-II	ξ_R	0,70	0,688	0,667	0,649	0,635	0,618	0,605	0,587	0,566	0,536	0,52
		A_R	0,455	0,451	0,445	0,438	0,434	0,427	0,422	0,415	0,406	0,398	0,385
		s	5,83	5,57	5,25	5,95	5,75	5,50	5,33	5,12	4,87	4,57	4,4
	А-I	ξ_R	0,72	0,706	0,688	0,67	0,657	0,64	0,627	0,609	0,588	0,559	0,542
		A_R	0,461	0,457	0,451	0,446	0,441	0,435	0,43	0,424	0,415	0,403	0,395
		s	8,79	8,45	8,03	7,66	7,40	7,08	6,86	6,58	6,26	5,87	5,67

1	Любой	ξ_b	0,794	0,778	0,758	0,742	0,726	0,71	0,694	0,678	0,654	0,626	0,598
		ξ_R	0,642	0,623	0,599	0,581	0,563	0,546	0,528	0,511	0,486	0,458	0,431
		A_R	0,436	0,429	0,420	0,412	0,405	0,397	0,389	0,381	0,368	0,353	0,338
	В-I	s	4,23	4,02	3,78	3,61	3,46	3,32	3,19	3,07	2,9	2,73	2,58
		ξ_R	0,651	0,632	0,609	0,591	0,573	0,555	0,538	0,52	0,496	0,467	0,44
		A_R	0,439	0,432	0,423	0,416	0,409	0,401	0,393	0,385	0,373	0,358	0,343
		s	4,56	4,34	4,08	3,9	3,73	3,58	3,44	3,3	3,13	2,95	2,78
	А-II	ξ_R	0,668	0,650	0,626	0,608	0,59	0,573	0,555	0,538	0,513	0,485	0,457
		A_R	0,445	0,439	0,43	0,423	0,416	0,409	0,401	0,393	0,382	0,367	0,353
		s	5,32	5,06	4,76	4,55	4,36	4,18	4,01	3,86	3,65	3,44	3,25
	А-I	ξ_R	0,693	0,674	0,652	0,634	0,616	0,598	0,581	0,564	0,539	0,51	0,482
		A_R	0,453	0,447	0,439	0,433	0,426	0,419	0,412	0,405	0,394	0,38	0,366
		s	6,85	6,5	6,12	5,85	5,6	5,37	5,16	4,96	4,7	4,42	4,17
1,1	Любой	ξ_b	0,79	0,77	0,754	0,734	0,714	0,698	0,678	0,662	0,634	0,602	0,578
		ξ_R	0,637	0,613	0,595	0,572	0,55	0,532	0,511	0,495	0,466	0,435	0,412
		A_R	0,434	0,425	0,418	0,408	0,399	0,391	0,381	0,372	0,357	0,34	0,327
	В-I	s	4,17	3,92	3,74	3,53	3,35	3,22	3,07	2,95	2,78	2,6	2,48

Коэффициент условной рас- порки бетона η_{bl}	Класс рас- порки арма- туры	Обозначение	Значения ξ , ξ_R , A_R и s при проектных марках бетона										
			M 150	M 200	M 250	M 300	M 350	M 400	M 450	M 500	M 600	M 700	M 800
1,1	В-I	ξ_R	0,646	0,623	0,604	0,581	0,559	0,542	0,521	0,504	0,475	0,444	0,421
		A_R	0,437	0,429	0,422	0,412	0,403	0,395	0,385	0,377	0,362	0,345	0,332
		s	4,5	4,23	4,04	3,81	3,62	3,47	3,31	3,19	3,0	2,8	2,67
	А-II	ξ_R	0,664	0,64	0,622	0,599	0,577	0,55	0,521	0,504	0,493	0,461	0,438
		A_R	0,443	0,435	0,429	0,42	0,411	0,403	0,393	0,386	0,371	0,355	0,342
		s	5,25	4,94	4,71	4,45	4,22	4,05	3,86	3,72	3,50	3,27	3,12
	А-I	ξ_R	0,688	0,665	0,647	0,625	0,603	0,586	0,564	0,547	0,519	0,486	0,463
		A_R	0,451	0,444	0,438	0,43	0,421	0,414	0,405	0,398	0,384	0,366	0,356
		s	6,76	6,35	6,05	5,72	5,43	5,21	4,96	4,78	4,49	4,21	4,01

Задача:

Дано:

$b=15\text{см}; h=30\text{см}; a=2,5\text{см};$

$M=47\text{кН}\cdot\text{м}=4700\text{кН}\cdot\text{см}$

В-25 класс бетона

A-II класс арматуры

Определить:

$A_s-?$

Решение:

1 Выписываем недостающие данные

$$R_b - 14,5 \text{ МПа} = 1,45 \text{ кН/см}^2$$

$$R_s - 280 \text{ МПа} = 28 \text{ кН/см}^2$$

$$h_o = h - a = 30 - 2,5 = 27,5 \text{ см}$$

$$2 \text{ Определяем } A_o = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_o^2 \cdot \gamma_b} = \frac{4700}{1,45 \cdot 15 \cdot 27,5^2 \cdot 1} = 0,286$$

$$A_o = 0,286 < A_{o \max} = 0,423 \text{ одиночное армирование}$$

3 По таблице определяем (т.3.9 Доркин)

$$\eta - \text{этта} = 0,83 - \left[\frac{0,830 - 0,825}{0,289 - 0,282} \cdot (0,289 - 0,286) \right] = 0,828$$

Решение:

4 Определяем $A_s = \frac{M}{\eta \cdot R_s \cdot h_0} = \frac{4700}{0,828 \cdot 28 \cdot 27,5} = \frac{4700}{637,56} = 7,37 \text{ см}^2$

5 По сортаменту подбираем необходимый $\emptyset$ арматуры $2\emptyset 22$ $A_s = 7,60 \text{ см}^2$

Вывод: для армирования сечения принимаем $2\emptyset 22$
 $A_s = 7,6 \text{ см}^2$

Задача

Подобрать продольную арматуру изгибаемого элемента, если размеры сечения балки:

$b=20\text{см}$ $h=40\text{см}$. Класс бетона В30

Класс арматуры АII

Коэффициент условия работы бетона $\gamma_b=1$

Защитный слой бетона $a=3\text{см}$. $a'=2\text{ см}$

$M=220\text{кН}\cdot\text{м}$

Решение

1. Выписываем данные материалов $R_b=1,7 \text{ кН/см}^2$ $R_s=28 \text{ кН/см}^2$
 $h_o=40-3=37 \text{ см}$.

2. Определяем $A_o = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_o^2} = \frac{22000}{1 \cdot 1,7 \cdot 20 \cdot 37^2} = 0,472$

3. $A_o \text{ max} = \mathbf{0,409}$ (Цай т.3.2 стр.90) (Доркин т.3.7 стр.98)

4. Определяем

$$M_{\text{max}} = A_o \text{ max} \cdot R_b \cdot b \cdot h_o^2 = 0,409 \cdot 1,7 \cdot 20 \cdot 37^2 = 19037,314 \text{ кН} \cdot \text{см} = 190,37 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Определяем

$$M' = 220 - 190,37 = 29,63 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$A'_s = \frac{M'_s}{R_{sc} \cdot (h_o - a')} = \frac{2963}{28 \cdot (37 - 2)} = 3,02 \text{ см}^2$$

➔ Определяем

$$A_s = \xi_{max} \cdot b \cdot h_o \cdot \frac{R_b}{R_s} + A'_s \cdot \frac{R_{sc}}{R_s} = 0,57 \cdot 20 \cdot 37 \cdot \frac{1,7}{28} + 3,02 \cdot \frac{28}{28} = 25 \text{ см}^2$$

По сортаменту принимаем арматуру:

Для сжатой зоны АII 2 Ø14 с $A_s = 3,08 \text{ см}^2$

Для растянутой зоны АII 3 Ø36 с $A_s = 30,54 \text{ см}^2$

Задача

▶ Проверить прочность сечения (несущую способность) ж/б балки прямоугольного сечения.

▶ Дано:

▶ $b=40\text{см}$

▶ $h=60\text{см}$

▶ В 20; AII-сжатая; AIII-растянутая

▶ $a=5\text{см}$; $a'=2\text{см}$

▶ $M=120\text{кН}\cdot\text{м}$

▶ $A_s = 20,36\text{см}^2$

▶ $A'_s=9,82\text{ см}^2$

Определить M -?

➔ Решение:

1. Выписываем данные материалов: **В 20** $R_b = 1,15 \text{ кН/см}^2$

AIII-растянутая $R_s = 36,5 \text{ кН/см}^2$ **AII**-сжатая $R'_{sc} = 28 \text{ кН/см}^2$

Определяем $h_0 = h - a = 60 - 5 = 55 \text{ см}$

➔ Решение:

2. Определяем момент воспринимаемый арматурой в сжатой зоне

$$A'_s = \frac{M'_s}{R_{sc} \cdot (h_0 - a')} \quad \Rightarrow \quad M'_s = A'_s \cdot R_{sc} \cdot (h_0 - a') = 9,82 \cdot 28 \cdot (55 - 2) = 14\,573 \text{ кН} \cdot \text{см}$$

➔ Решение:

3. Определяем момент воспринимаемый бетоном в сжатой зоне

$$M_{max} = A_{o\ max} \cdot R_b \cdot b \cdot h_0^2 = 0,43 \cdot 1,15 \cdot 40 \cdot 55^2 = 59\ 835 \text{ кН} \cdot \text{см}$$

4. и тогда момент в сжатой зоне:

$$M = M_{max} + M'_s = 59\ 835 + 14\ 573 = 74\ 408 \text{ кН} \cdot \text{см} = 744.1 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

5. Определяем относительную высоту сжатой зоны бетона

$$\xi = \frac{M \cdot R'_s}{R_b} \rightarrow \text{т. к. } M = \frac{A'_s}{b \cdot h_0} \text{ тогда}$$

$$\xi = \frac{A'_s \cdot R'_s}{b \cdot h_0 \cdot R_b} = \frac{9,82 \cdot 28}{40 \cdot 55 \cdot 1,15} = 0,108$$

6. Зная $\xi = 0,11$ определяем A_0 по табл. $A_0 = 0,104$

7. Определяем момент в растянутой зоне

$$M_B = A^0 \cdot R_B \cdot b \cdot h_0^2 = 14\,472 \text{ кН*см}$$

$$M = M_B + M'_S = 14\,472 + 14\,573 = 29\,045 \text{ кН*см}$$

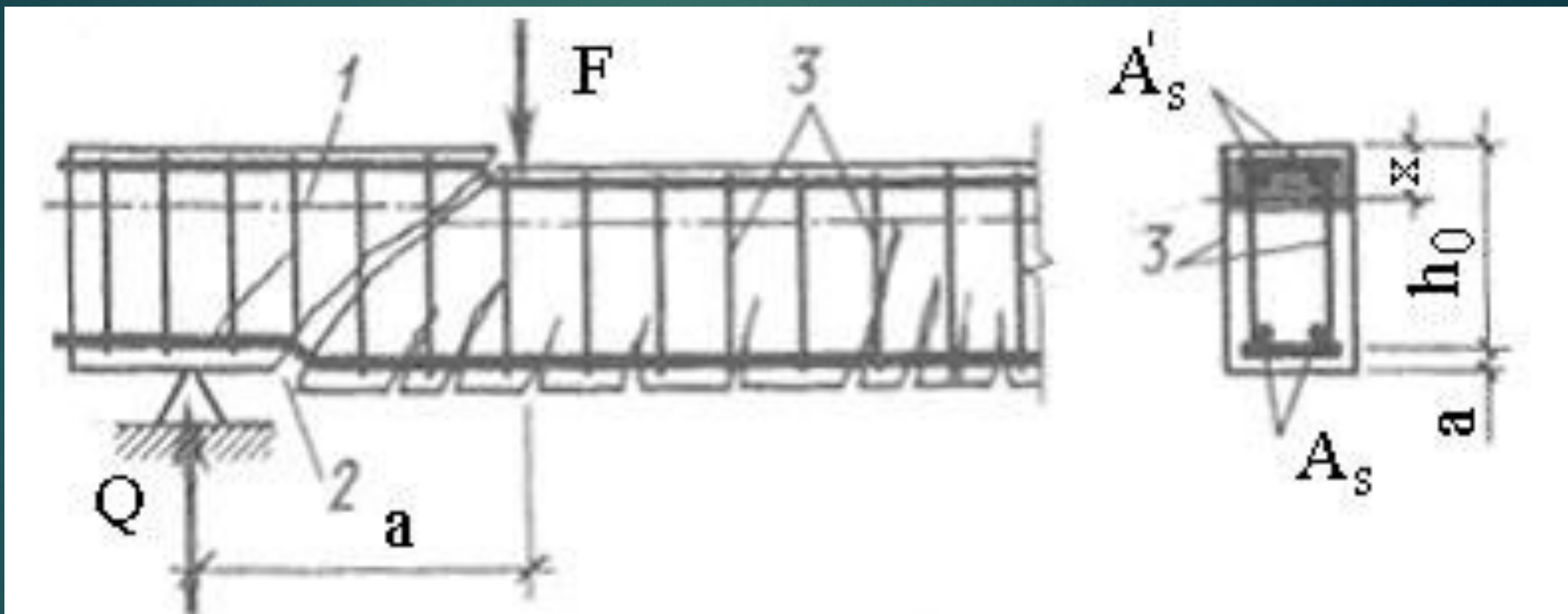
8. Проверяем условие $M(\geq \leq) M_{\text{факт}}$

$$M = 29\,045 \text{ кН*см} > M_{\text{факт}} = 12\,000 \text{ кН*см}$$

ВЫВОД: несущая способность балки обеспечена т.к.

$$M > M_{\text{факт}}$$

Расчёт по наклонным сечениям

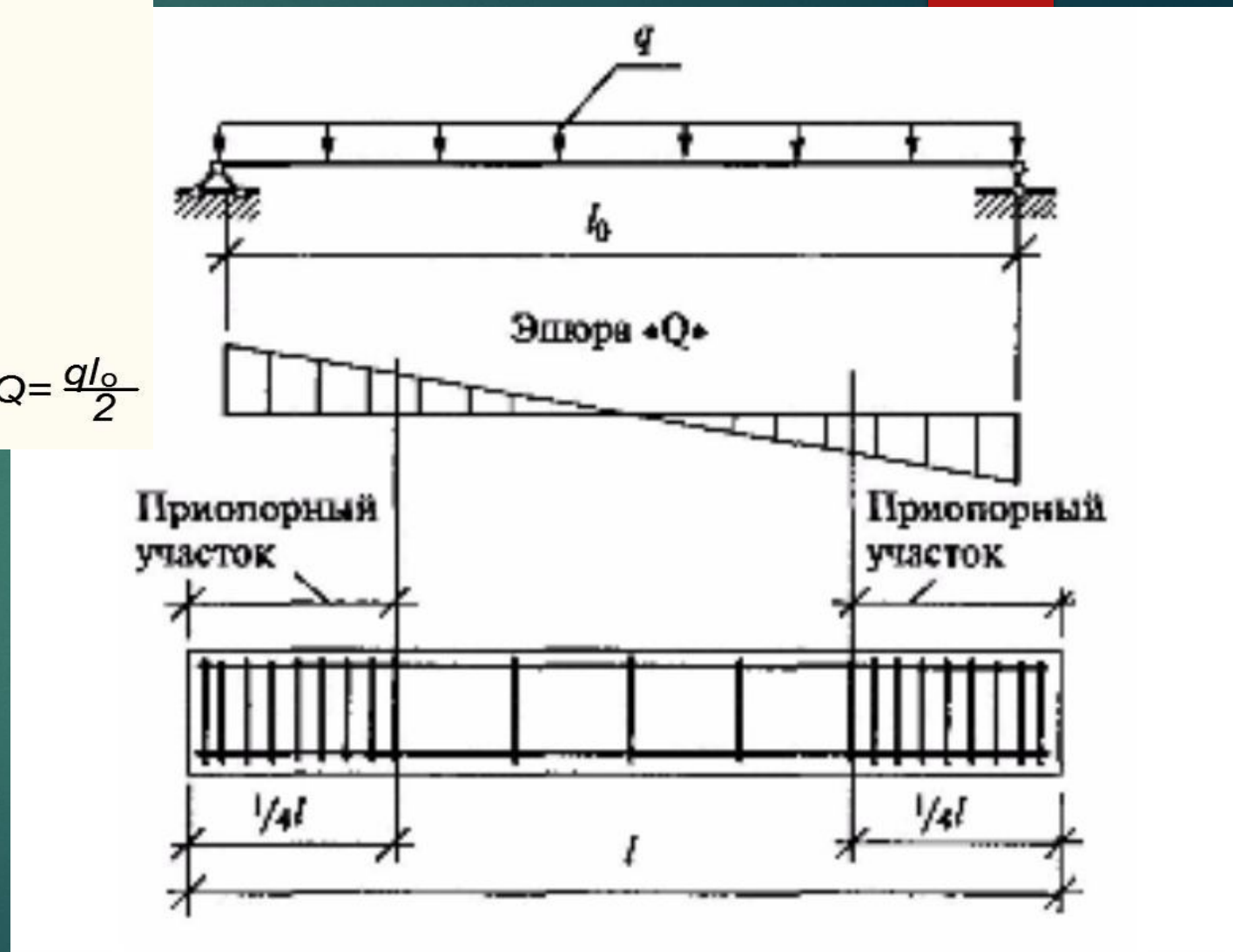
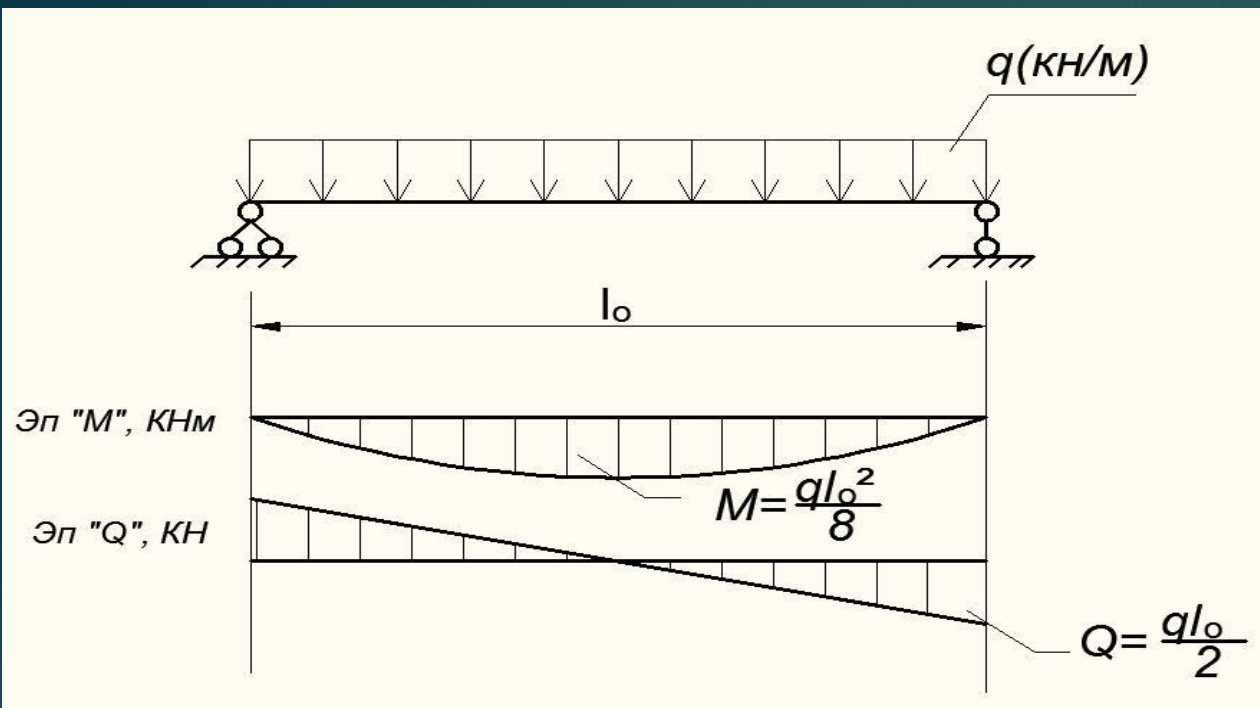


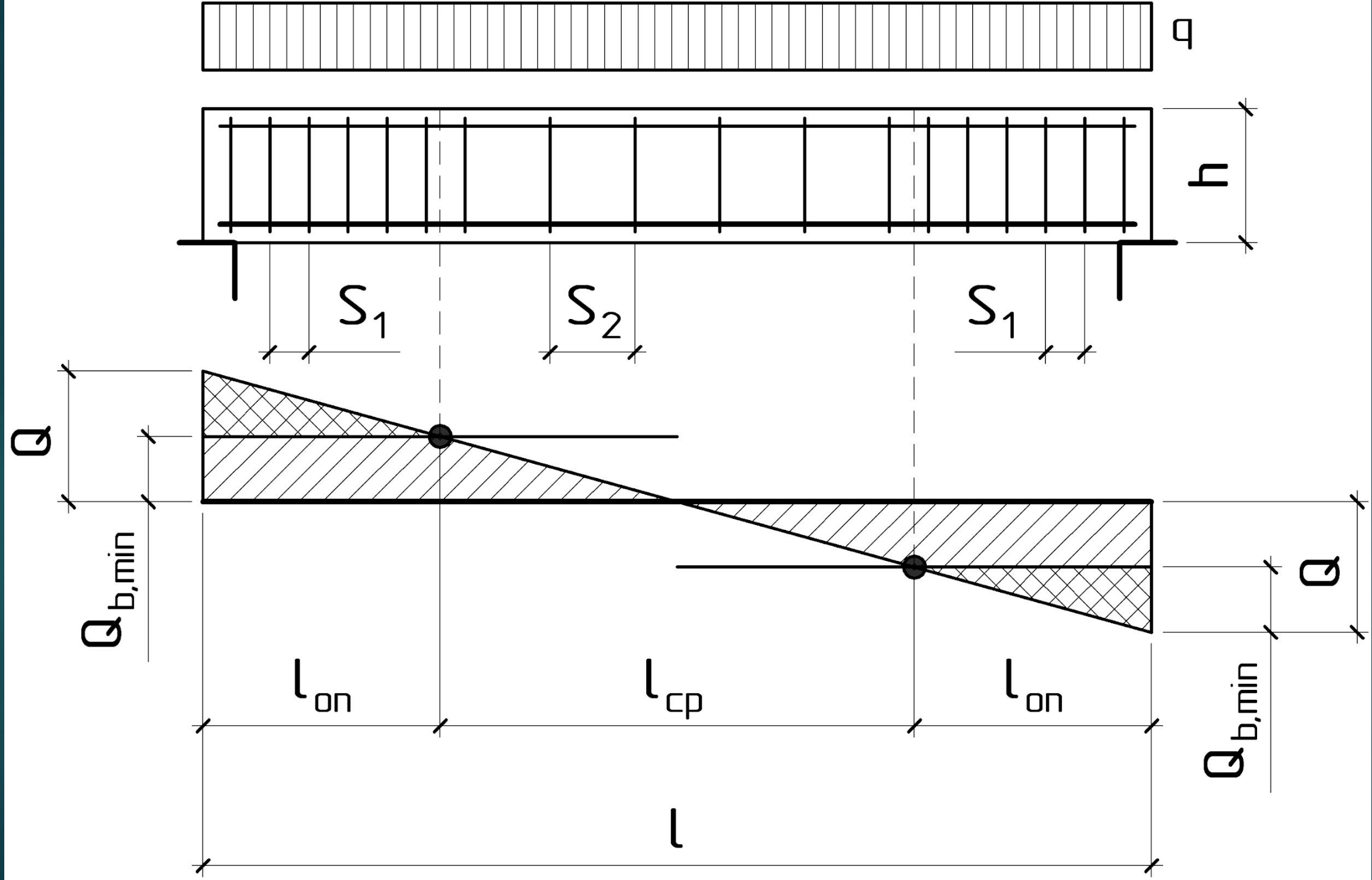
- ▶ Расчёт изгибаемых элементов по нормальным сечениям обеспечивает прочность ж/б конструкций в зоне max. изгибающих моментов (M).
- ▶ Наклонные трещины возникают вблизи опор, на участке не менее $1/4$ пролёта изгибаемых элементов, в результате совместного действия M и Q .
- ▶ Наклон трещин в элементе зависит от характера армирования.
- ▶ Во избежание наклонных трещин и возможного разрушения балки - необходима постановка поперечной арматуры.
- ▶ **Сущность расчёта:** при заданном $\emptyset$ определить шаг поперечных стержней

Расчёт по наклонным сечениям

При совместном действии M и Q в железобетонном возникает система наклонных трещин, разделяющих элемент на отдельные блоки, которые связаны между собой продольной арматурой в растянутой зоне, поперечной арматурой и нетреснувшей частью бетона над вершиной наклонной трещины в сжатой зоне.







Расчёт по наклонным сечениям

Алгоритм расчёта

1 Проверяем условие которое при действии поперечной силы должно соблюдаться условие

$$Q \leq 0,35 \cdot R_b \cdot b \cdot h_o$$

2 Расчёт на действие поперечной силы не производится, если соблюдается условие

$$Q \leq k_1 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_o$$

где R_{bt} — расчётное сопротивление бетона на растяжение

k_1 -коэффициент, для тяжелого бетона ребристых и пустотных плит=0,6; для тяжелого бетона сплошных балок и настилов=0,75

- ▶ если данное условие выполняется, то поперечную арматуру ставят конструктивно если

$$h \leq 40 \text{ см}$$

То должно выполняться условие

$$\left\{ \begin{array}{l} s_1 \leq \frac{h}{2} \\ s_1 \leq 15 \text{ см} \end{array} \right.$$

- ▶ где s_1 -шаг поперечных стержней на приопорных участках.
- ▶ Из двух значений принимаем кратное 5 см в меньшую сторону.

► Шаг поперечных стержней s_2 в средней части пролета балки

$$\left\{ \begin{array}{l} s_2 \leq \frac{3}{4}h \\ s_2 \leq 50\text{см} \end{array} \right.$$

если $h \geq 40\text{см}$ ТОГДА

$$\left\{ \begin{array}{l} s_1 \leq \frac{h}{3} \\ s_1 \leq 30\text{см} \end{array} \right.$$

► Если условие

$$Q \leq k_1 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_o$$

не выполняется

то шаг поперечных стержней на приопорных участках устанавливается по расчёту.

3. Определяем интенсивность действия поперечных сил

$$g_{sw} = \frac{Q^2}{8 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_o^2}$$

4.3 зная g_{sw} определяем шаг поперечных стержней

$$S_1 = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{g_{sw}}$$

где $A_{sw} = n \cdot f_s$ - площадь арматуры работающей на растяжение

$f_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ - площадь поперечного сечения стержня

n - количество поперечных стержней

Шаг поперечных стержней не должен превышать:

$$S = \frac{1,5 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_o^2}{Q}$$

→ 5. Принимаем шаг:

если $h \leq 40\text{см}$

$$\left\{ \begin{array}{l} S_1 - \text{по расчёту} \\ S_1 \leq \frac{h}{2} \\ S_1 \leq 15\text{см} \end{array} \right.$$

если $h \geq 40\text{см}$

$$\left\{ \begin{array}{l} S_1 - \text{по расчёту} \\ S_1 \leq \frac{h}{3} \\ S_1 \leq 30\text{см} \end{array} \right.$$

➔ ЗАДАЧА

Подобрать поперечную арматуру балки

Дано:

$$b=20\text{см}$$

$$h=40\text{см}$$

$$a=3\text{см}$$

$$Q=70\text{кН}$$

$$B\ 30$$

$$\text{All } \varnothing 10\text{мм}$$

$$\gamma_b=0,85$$

$$n=2$$

Определить: S_1 -? и S_2 -?

► РЕШЕНИЕ:

1. Выписываем характеристики материалов

$$R_b = 1,7 \text{ кН/см}^2 \quad R_{bt} = 0,12 \text{ кН/см}^2 \quad R_{sw} = 22,5 \text{ кН/см}^2 \quad (\text{СНиП 2.03.01-85} \\ \text{т.13 т.22})$$

$$h_o = h - a = 40 - 3 = 37 \text{ см}$$

Для подбора поперечной арматуры задаём $\emptyset$ поперечных стержней. Принимаем АII $\emptyset 10$ с $f_s = 0,785 \text{ см}^2$ для одного стержня по сортаменту.

2.Проверяем условие которое должно соблюдаться при действии поперечных сил:

$$Q \leq 0,35 \cdot R_b \cdot b \cdot h_o$$

$$70 \leq 0,35 \cdot 1,7 \cdot 20 \cdot 37 = 440,3 \text{ кН}$$

Размеры сечения балки подобраны удовлетворительно, условие выполняется.

Проверяем условие:

$$Q \leq k_1 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_o$$

$$70 \leq 0,75 \cdot 0,12 \cdot 20 \cdot 37 = 66,6 \text{ кН}$$

Условие не выполняется

Следовательно шаг поперечных стержней принимаем по расчёту

3. Определяем интенсивность действия поперечной силы

$$g_{sw} = \frac{Q^2}{8 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}$$

$$g_{sw} = \frac{70^2}{8 \cdot 0,12 \cdot 0,85 \cdot 20 \cdot 37^2} = 0,219 \text{ кН/см}^2$$

4. Определяем шаг поперечных стержней

$$A_{sw} = n \cdot f_s$$

$$A_{sw} = 2 \cdot 0,785 = 1,57 \text{ см}^2$$

$$S_1 = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{g_{sw}}$$

$$S_1 = \frac{22,5 \cdot 1,57}{0,219} = 161,3 \text{ см}$$

➔ 5. Принимаем шаг S_1 т.к. **$h=40\text{см}$** по условию:

если $h \geq 40\text{см}$

$$\left\{ \begin{array}{l} S_1 = 161,3\text{см} \\ S_1 \leq \frac{h}{3} = 13,3\text{см} \\ S_1 \leq 30\text{см} \end{array} \right.$$

Следовательно принимаем **$S_1=15\text{см}$**

$$\left\{ \begin{array}{l} S_2 \leq \frac{3}{4} \cdot h = \frac{3}{4} \cdot 40 = 30\text{см} \\ S_2 \leq 50\text{см} \end{array} \right.$$

Принимаем шаг **$S_2=30\text{см}$**

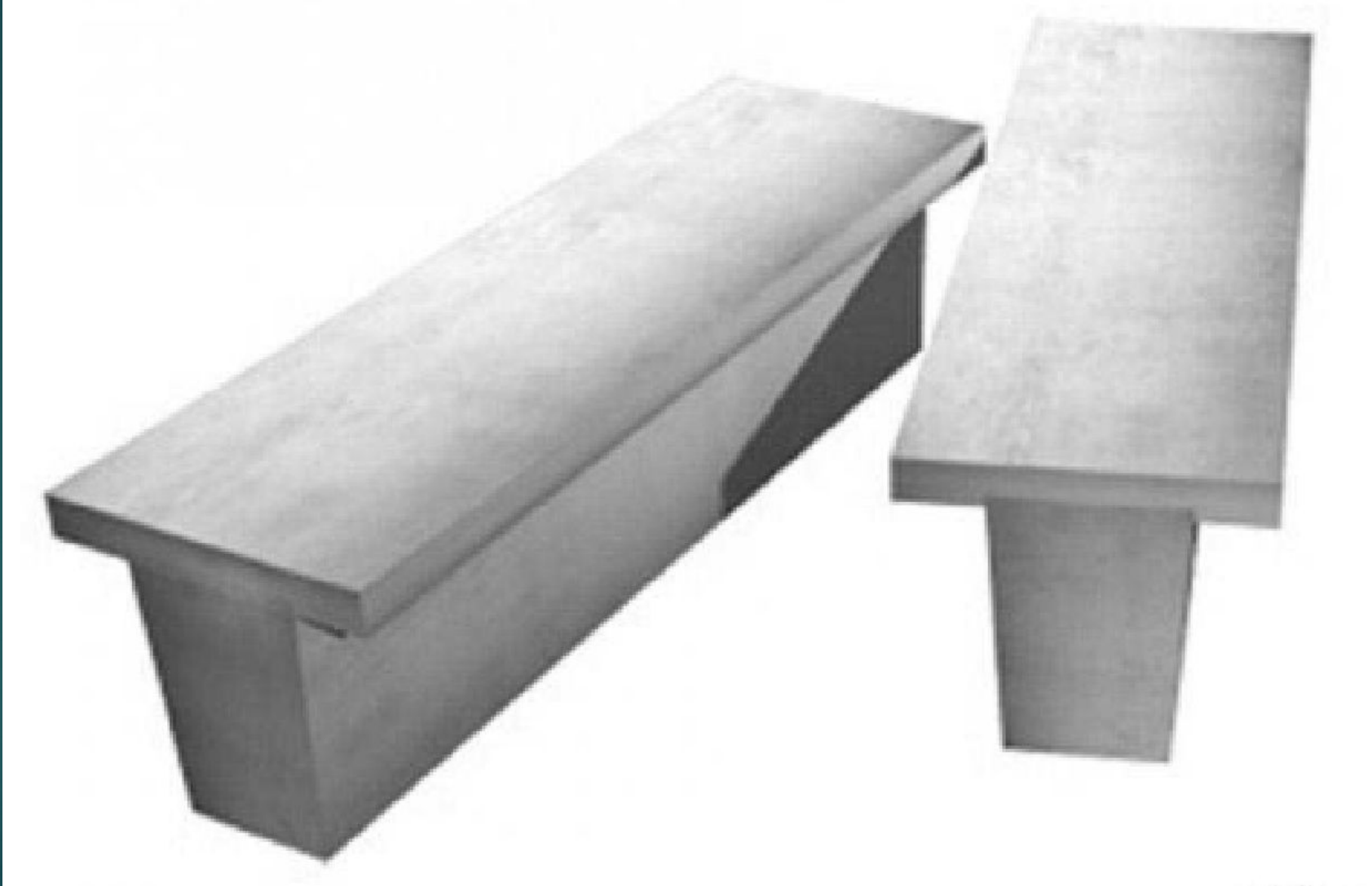
Для самостоятельной работы задача 3.17 (В.В.Доркин
сборник задач по строительным конструкциям)

Задача 3.17

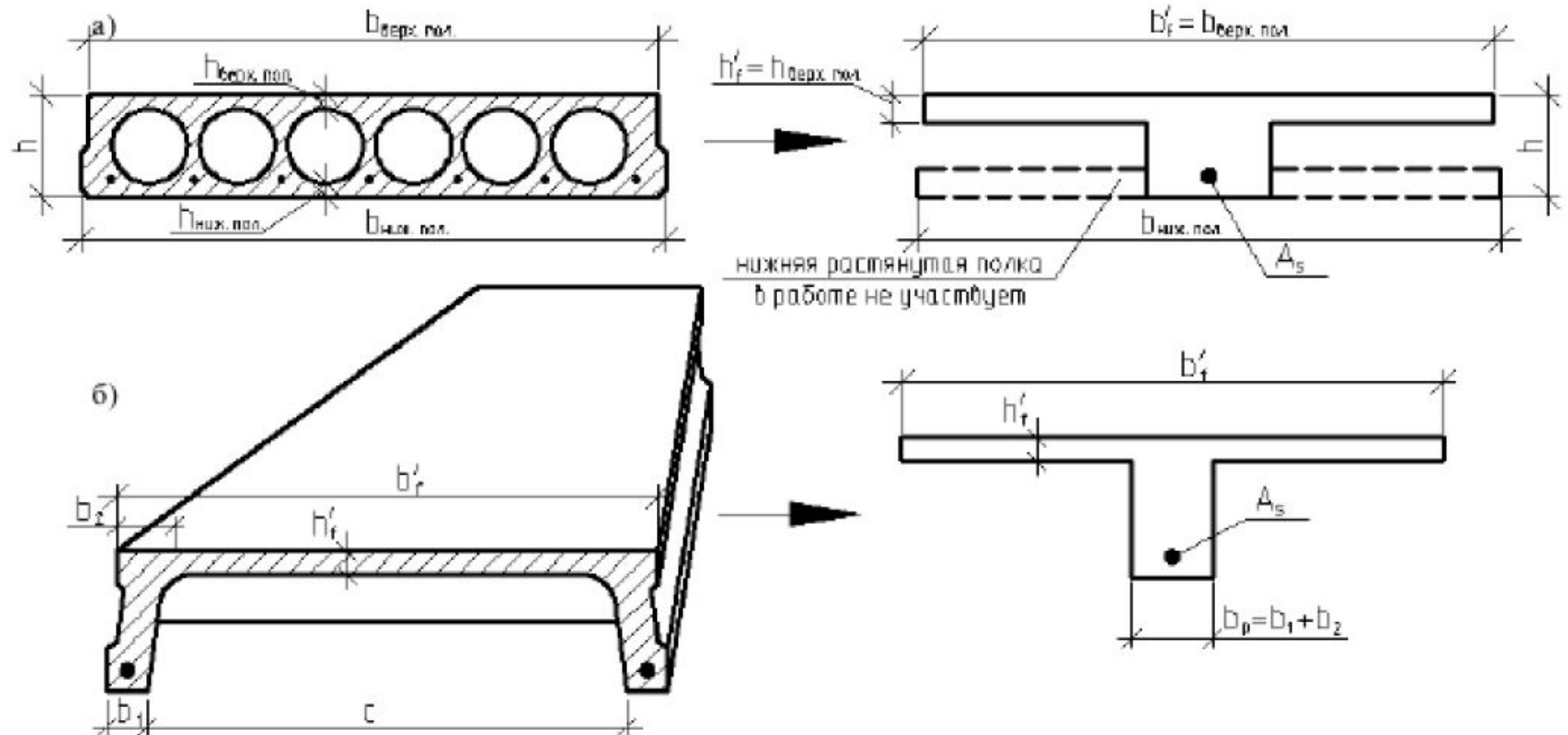
Принять $\ell_{\text{геом}} = 6\text{м}$

Длина приопорного участка $\ell_{\text{оп.уч}} = 1/4 \cdot \ell_{\text{геом}}$

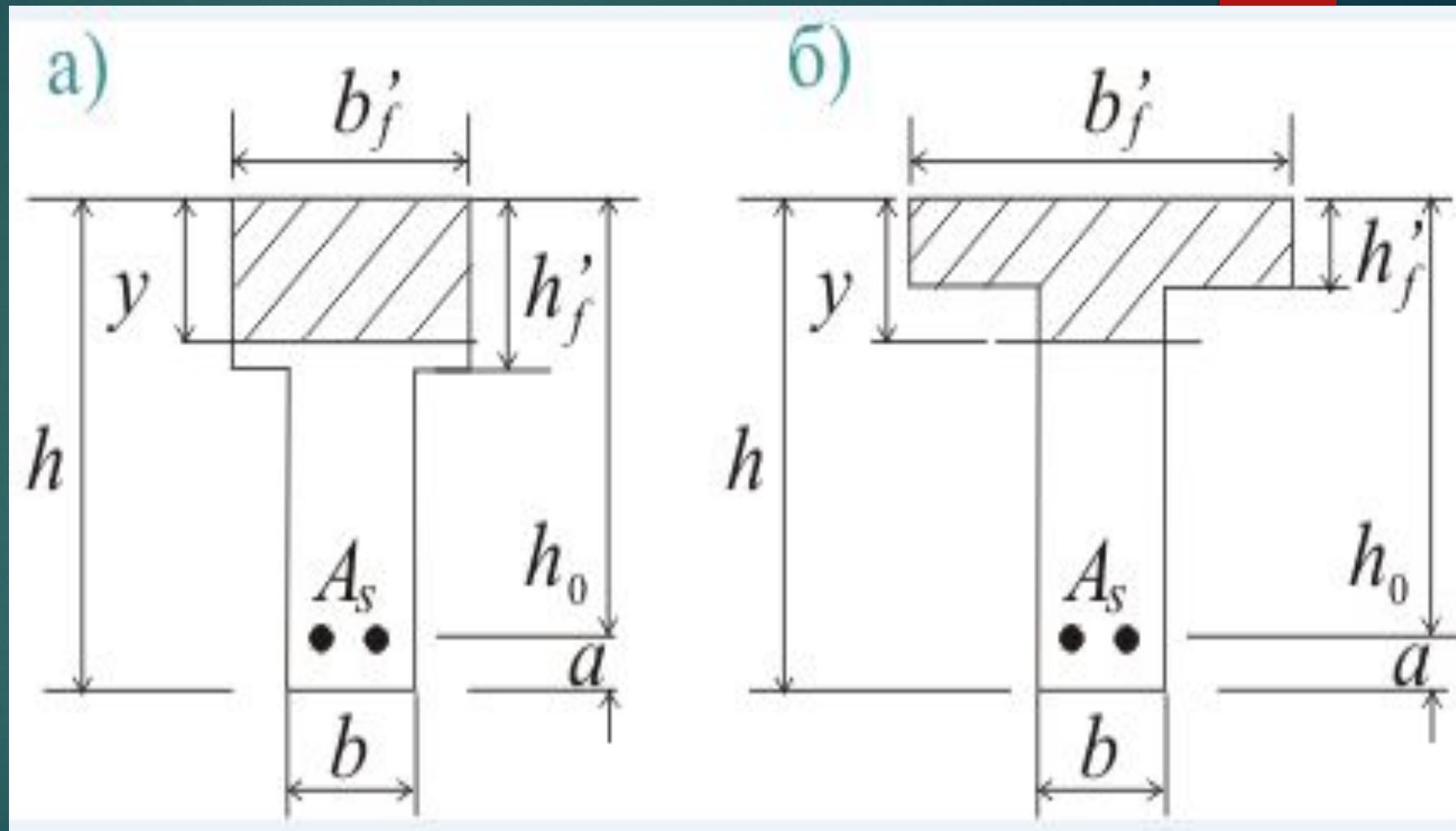
Тавровые и двутавровые сечения



Приведённое сечение



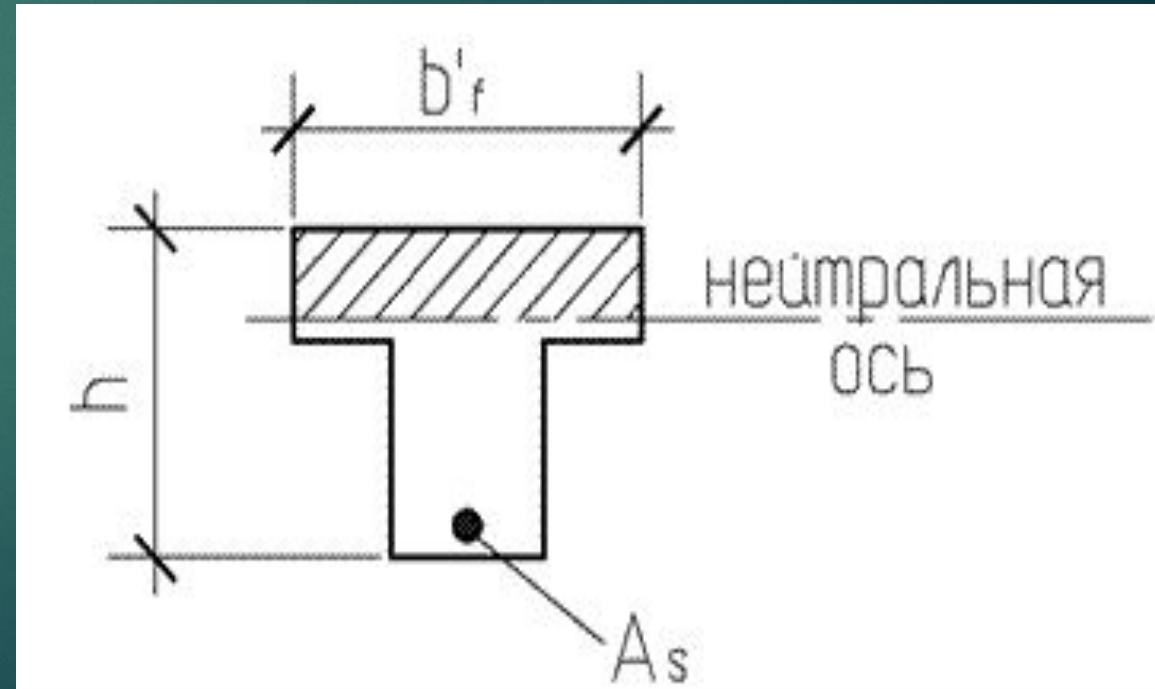
Основные обозначения



- b_f - ширина полки
- h_f - толщина полки
- b_p - ширина ребра
- h - высота
- y - высота сжатой зоны бетона

Смысл таврового сечения

- ▶ Растянутую зону бетона сводят до min. (т.к. бетон плохо работает на растяжение) и оставляют лишь такое количество которое было бы достаточно для растянутой арматуры.
- ▶ Возможны два случая расчёта:
- ▶ **I случай – нейтральная ось проходит в полке**



▶ ДАНО: b_{Π} h'_n b_p h a M_{max} В класс бетона А класс арматуры

▶ ОПРЕДЕЛИТЬ: A_s ?

РЕШЕНИЕ:

1. Выписываем недостающие данные материалов R_b R_s

2. Устанавливаем положение нейтральной оси

$$X = h'_n \longrightarrow M_{сеч}^x = h'_n = R_b \cdot b'_n \cdot h'_n \cdot \left(h_0 - \frac{h'_n}{2} \right)$$

3. Сравниваем $M_{сеч}^x > M_{max}$ - нейтральная ось в пределах полки и данное сечение рассчитывают как прямоугольное.

4. Определяем $A_0 = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_0^2}$ $\longrightarrow$ определяем по табл. η

5. Рассчитываем $A_s = \frac{M}{R_b \cdot b'_n \cdot h'_0}$

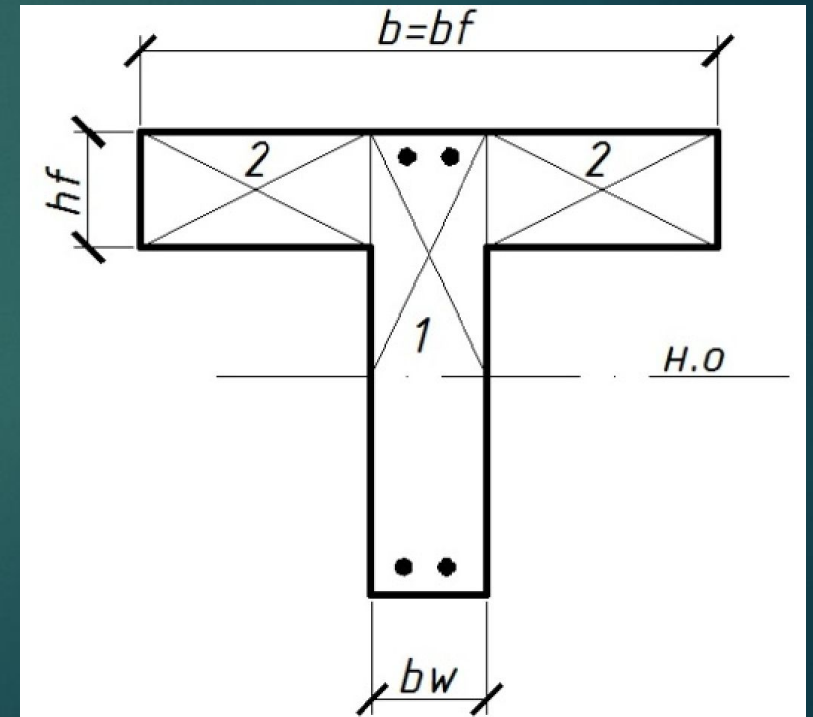
6. Подбираем $\emptyset$ арматуры по сортаменту

II способ – нейтральная ось проходит в пределах ребра

► Условие: $M_{сеч}^x < M_{max}$

► Относительная высота сжатой зоны

$$\xi = \frac{A_s \cdot R_s}{b \cdot h_0 \cdot R_b}$$



АЛГОРИТМ РАСЧЁТА

1. Выписываем недостающие данные
2. Определяем границы сжатой зоны $M_{сеч}^x = h'_n = R_B \cdot b'_n \cdot h'_n \cdot (h_0 - \frac{h'_n}{2})$
3. Сравниваем $M_{сеч}^x$ и M_{max} если $M_{сеч}^x < M_{max}$ -нейтральная ось в пределах ребра
4. Определяем $M_{свеса} = R_b \cdot (b'_n - b_p) \cdot h'_n (h_0 - \frac{h'_n}{2})$
5. Зная $M_{свеса}$ и M определяем момент воспринимаемый ребром $M_p = M - M_{св}$
6. Определяем A_0 рассматриваем работу ребра и рассчитываем его, как прямоугольное сечение $A_0 = \frac{M_p}{R_b \cdot b_p \cdot h_0^2}$
7. По A_0 по таблице определяем η

▶ 8. Зная η определяем $A_{s\text{ребре}} = \frac{M_p}{R_s \cdot \eta \cdot h_0^2}$

▶ 9. Определяем $A_{s\text{свес}} = \frac{M_{\text{св}}}{R_s \cdot (h_0 - \frac{h'_n}{2})}$

▶ 10. Определяем $A_s = A_{s\text{p}} + A_{s\text{св}}$

▶ 11. По сортаменту подбираем $\emptyset$ арматуры

➔ ЗАДАЧА по I способу

Подобрать арматуру ж/б балки таврового сечения:

Дано:

$$b'_n = 220 \text{ см}$$

$$h'_n = 6 \text{ см}$$

$$b_p = 20 \text{ см}$$

$$h = 40 \text{ см}$$

$$a = 3,5 \text{ см}$$

$$\gamma_{b1} = 0,85$$

$$B25 \text{ AIII}$$

$$M = 35 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\ell_6 = 6 \text{ м}$$

➔ РЕШЕНИЕ:

1.Выписываем данные материалов:

$$R_b=1,23 \text{ кН/см}^2 \quad R_s=36,5 \text{ кН/см}^2 \quad h_0=40-3,5=36,5 \text{ см}$$

2.Определяем отношение толщины плиты к высоте балки

$$\frac{h'_n}{h} = \frac{6}{40} = 0,15 > 0,1$$

$$b'_n = b_p + 2 \cdot \frac{\ell_6}{6} = \quad \text{см}$$

3. Определяем границы сжатой зоны, устанавливаем положение нейтральной оси

$$M_x = R_b \cdot b_n \cdot h'_n \cdot (h_0 - 0,5 \cdot h'_n) = 1,45 \cdot 0,85 \cdot 220 \cdot 6 \cdot (36,5 - 0,5 \cdot 6) = 545 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_x = 545 \text{ кН} \cdot \text{м} > M = 35 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Вывод: Нейтральная ось проходит в пределах полки, сечения рассчитываем как прямоугольное

▶ 4.
$$A_o = \frac{M}{R_b \cdot b'_n \cdot h_0^2} = \frac{3500}{1,235 \cdot 220 \cdot 36,5^2} = \frac{3500}{361972,33} = 0,0097 = 0,01$$

▶ Определяем интерполированием $\eta = 0,995$

$$A_s = \frac{M}{R_s \cdot h_0 \cdot \eta} = \frac{3500}{36,5 \cdot 36,5 \cdot 0,995} = \frac{3500}{1325,6} = 2,64 \text{ см}^2$$

▶ Подбираем по сортаменту 2 $\emptyset 14$ All $A_s = 3,08 \text{ см}^2$

▶ Задача на самостоятельную работу **3.12** (Доркин сборник задач)

➤ **ЗАДАЧА по II способу**

Подобрать арматуру ж/б балки таврового сечения:

Дано:

$$b'_n = 220 \text{ см}$$

$$h'_n = 6 \text{ см}$$

$$b_p = 20 \text{ см}$$

$$h = 40 \text{ см}$$

$$a = 3,5 \text{ см}$$

$$\gamma_{b1} = 0,81$$

B25 AIII

$$M = 650 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\ell_0 = 6 \text{ м}$$

➤ РЕШЕНИЕ:

1.Выписываем данные материалов:

$$R_b=1,235 \text{ кН/см}^2 \quad R_s=36,5 \text{ кН/см}^2 \quad h_0=40-3,5=36,5 \text{ см}$$

2.Определяем отношение толщины к высоте балки $\frac{h'_n}{h}=\frac{6}{40}=0,15 > 0,1 \text{ см}$

3.Определяем границы сжатой зоны, устанавливаем положение нейтральной оси:

$$M_{x=h'_n}=R_b \cdot b_n \cdot h'_n \cdot (h_0 - 0,5 \cdot h'_n)$$

$$M_{x=h'_n}=$$

$$M_x < \mathbf{M}$$

Вывод: Нейтральная ось проходит в пределах ребра.

4. Определяем момент воспринимаемый свесами сжатой полки:

$$M_{св} = R_b \cdot (b'_n - b_p) \cdot h'_n \cdot (h_o - \frac{h'_n}{2})$$

$$M_{св} = 1,235 \cdot (220 - 20) \cdot 6 \cdot (36,5 - 3) = 49647 \text{ кН см}^2 = 496,5 \text{ кНм}$$

5. Определяем момент воспринимаемый ребром:

$$M_p = M - M_{св} = 650 - 496,5 = 153,5 \text{ кНм}$$

6. Определяем A_o :

$$A_o = \frac{M_p}{R_b \cdot b_p \cdot h_0^2} = \frac{15350}{1,235 \cdot 20 \cdot 36,5^2} = 0,466$$

способом интерполирования определяем η

$$\eta = 0,65 - \left[\frac{0,65 - 0,6}{0,48 - 0,455} \cdot (0,466 - 0,455) \right] = 0,628$$

➡ 7. Определяем площадь арматуры уравнивающей работу свесов:

$$A_{s \text{ св}} = \frac{M_{\text{св}}}{R_s \cdot (h_o - 0,5 \cdot h'_n)} \text{ см}^2$$

8. Определяем площадь арматуры работающей совместно с ребром:

$$A_{s \text{ р}} = \frac{M_p}{R_s \cdot \eta \cdot h_o} = \text{ см}^2$$

9. Определяем общую площадь арматуры

$$A_s = A_{s \text{ св}} + A_{s \text{ р}} = \text{ см}^2$$

10. По сортаменту подбираем арматуру **AIII 8Ø ...** $A_s = \text{ см}^2$

ЗАЩИТНЫЙ СЛОЙ БЕТОНА

- ▶ Арматура, расположенная внутри сечения конструкции, должна иметь защитный слой бетона (расстояние от поверхности арматуры до соответствующей грани конструкций) чтобы обеспечивать:
 - ▶ - совместную работу арматуры с бетоном;
 - ▶ - анкеровку арматуры в бетоне и возможность устройства стыков арматурных элементов;
 - ▶ - сохранность арматуры от воздействий окружающей среды (в том числе при наличии агрессивных воздействий);
 - ▶ - огнестойкость и огнесохранность.
- ▶ Толщину защитного слоя бетона назначают исходя из требований [п. 5.6](#) с учетом типа конструкций, роли арматуры в конструкциях (продольная рабочая, поперечная, распределительная, конструктивная арматура), условий окружающей среды и диаметра арматуры.

Минимальные значения толщины защитного слоя бетона рабочей арматуры

таблица 1

№ п/п	Условия эксплуатации конструкций здания	Толщина защитного слоя бетона, мм, не менее
1.	В закрытых помещениях при нормальной и пониженной влажности	20
2.	В закрытых помещениях при повышенной влажности (при отсутствии дополнительных защитных мероприятий)	25
3.	На открытом воздухе (при отсутствии дополнительных защитных мероприятий)	30
4.	В грунте (при отсутствии дополнительных защитных мероприятий), в фундаментах при наличии бетонной подготовки	40
5.	В монолитных фундаментах при отсутствии бетонной подготовки	70

- ▶ Для сборных элементов минимальные значения толщины защитного слоя бетона рабочей арматуры, указанные в **табл. 1**, уменьшают на 5 мм.
- ▶ Для железобетонных плит из бетона класса В20 и выше, изготавливаемых на заводах в металлических формах и защищаемых сверху в сооружении бетонной подготовкой или стяжкой, толщину защитного слоя для верхней арматуры допускается принимать **5 мм**.
- ▶ Для конструктивной арматуры минимальные значения толщины защитного слоя бетона принимают на 5 мм меньше по сравнению с требуемыми для рабочей арматуры.
- ▶ **Во всех случаях толщину защитного слоя бетона следует также принимать не менее диаметра стержня арматуры.**
- ▶ В изгибаемых, растянутых и внецентренно сжатых (при $M_l/N_l > 0,3h$) элементах, кроме фундаментов, толщина защитного слоя для растянутой рабочей арматуры, как правило, не должна превышать 50 мм. В защитном слое толщиной свыше 50 мм следует устанавливать конструктивную арматуру в виде сеток.

СТРОПОВОЧНЫЕ ПЕТЛИ

Диаметр стержня петли, мм	Масса изделия m , кг, приходящаяся при подъеме на одну петлю из стали классов		Диаметр стержня петли, мм	Масса изделия m , кг, приходящаяся при подъеме на одну петлю из стали классов	
	A240	A300		A240	A300
6	150		18	2500	3100
8	300		20	3100	3900
10	700	900	22	3800	4700
12	1100	1500	25	4900	6100
14	1500	1900	28	6100	7600
16	2000	2500	32	8000	9900

При подъеме за три петли и более, расположенных на одном торце изделия (например, на стеновой панели), масса изделия принимается распределенной только на две петли.

Сортамент

Номинальный диаметр стержня, мм	Расчетная площадь поперечного стержня, мм ² , при числе стержней									Теоретическая масса 1м длины арматуры, кг	Диаметр арматуры классов			Максимальный размер сечения стержня периодического профиля
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		A240 A400 A500	A300	B500	
3	(0,071см ²) 7,1	14,1	21,2	283	35,3	42,4	49,5	56,5	63,6	0,052	-	-	+	-
4	12,6	25,1	37,7	50,2	62,8	75,4	87,9	100,5	113	0,092	-	-	+	-
5	19,6	393	58,9	78,5	98,2	117,8	137,5	157,1	176,7	0,144	-	-	+	-
6	28,3	57	85	113	141	170	198	226	254	0,222	+	-	+	6,75
8	50,3	101	151	201	251	302	352	402	453	0,395	+	-	+	9,0
10	78,5	157	236	314	393	471	550	628	707	0,617	+	+	+	113
12	113,1	226	339	452	565	679	792	905	1018	0,888	+	+	+	13,5
14	153,9	308	462	616	769	923	1077	1231	1385	1,208	+	+	-	15,5
16	201,1	402	603	804	1005	1206	1407	1608	1810	1,578	+	+	-	18
18	254,5	509	763	1018	1272	1527	1781	2036	2290	1,998	+	+	-	20
20	314,2	628	942	1256	1571	1885	2199	2513	2828	2,466	+	+	-	22
22	380,1	760	1140	1520	1900	2281	2661	3041	3421	2,984	+	+	-	24
25	490,9	982	1473	1963	2454	2945	3436	3927	4418	3,84	+	+	-	27
28	615,8	1232	1847	2463	3079	3685	4310	4926	5542	4,83	+	+	-	30,5
32	804,3	1609	2413	3217	4021	4826	5630	6434	7238	631	+	+	-	34,5
36	1017,9	2036	3054	4072	5089	6107	7125	8143	9161	7,99	+	+	-	39,5
40	1256,6	2513	3770	5027	6283	7540	8796	10053	11310	9,865	+	+	-	43,5
45	1590,4	3181	4771	6362	7952	9542	11133	12723	14313	12,49	-	+	-	49
50	1963,5	3927	5891	7854	9818	11781	13745	15708	17672	15,41	-	+	-	54
55	2376	4752	7128	9504	11880	14256	16632	19008	21384	18,65	-	+	-	59
60	2827	5654	8481	11308	14135	16962	19789	22616	25443	22,19	-	+	-	64
70	3848	7696	11544	15392	19240	23088	26936	30784	34632	30,46	-	+	-	74,0

ОТВЕТЬ на ВОПРОСЫ

1. Толщина защитного слоя бетона?
2. Как называется арматура которую устанавливают по расчёту?
3. Показатель оценивающий упругие свойства бетона?
4. В какой зоне бетона располагают рабочую арматуру?
5. Как определяется рабочая высота сечения изгибаемых элементов?
6. Чему равен коэффициент армирования и в каких оптимальных пределах он находится?
7. Класс арматуры который используют в качестве рабочей?
8. Цель расчёта прямоугольного сечения?
9. Укажите 2 случая расчёта тавровых сечений?
10. Сущность расчёта по наклонным сечениям?

► Литература

- Сетков В.И., Сербин Е.П. Строительные конструкции. –М.: ИНФРА-М,2005 – 448 с.
- Цай Т.Н. Строительные конструкции. Железобетонные. - СПб-М-Краснодар. Лань, 2012-463с. [http://lib.sibadi.org/wp-content/uploads/2013/04/4\(8\).pdf](http://lib.sibadi.org/wp-content/uploads/2013/04/4(8).pdf)
- Цай Т.Н. Строительные конструкции. Металлические, каменные, армокаменные конструкции. Конструкции из дерева и пластмасс. Основания и Фундаменты. - СПб-М-Краснодар -Краснодар. Лань, 2012-463с.
- СНиП 2.01.07.- 85* Нагрузки и воздействия <http://docs.cntd.ru/document/5200280>
- СНиП II- 03 –01-84* Бетонные и ж/б конструкции <http://docs.cntd.ru/document/871001190>
- СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции <http://docs.cntd.ru/document/1200035580>