

П.Ф. ВАХНЕНКО

В.П. ВАХНЕНКО

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ СЕЛЬСКО- ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

РАСЧЕТ
И ПРОЕКТИРОВАНИЕ

П. Ф. ВАХНЕНКО, канд. техн. наук
В. П. ВАХНЕНКО

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ СЕЛЬСКО- ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

РАСЧЕТ
И ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Железобетонные конструкции сельскохозяйственных зданий:
Расчет и проектирование / Вахненко П. Ф., Вахненко В. П. —
Киев : Будівельник, 1982. — 152 с.

В книге приведены основные справочные материалы, необходимые при расчете и конструировании железобетонных элементов, примеры расчета наиболее часто встречающихся железобетонных конструкций.

Нормативные материалы приведены по состоянию на 1 ноября 1981 г.

Рассчитана на инженерно-технических работников проектных и строительно-монтажных организаций, а также может быть использована студентами строительных вузов и техникумов.

Табл. 13. Ил. 54. Библиогр.: 12 назв.

Рецензенты: канд. техн. наук Л. Е. Дробязко,
инж. В. В. Сандубра

Редакция литературы по сельскому строительству и озеленению

Зав. редакцией Н. С. Колесник

*Петр Федорович Вахненко, канд. техн. наук,
Виктор Петрович Вахненко*

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Расчет и проектирование

Редактор Н. И. Курбанова
Обложка художника Ю. В. Бойко
Художественный редактор А. А. Стеценко
Технические редакторы О. Г. Шульженко, К. Е. Ставрова
Корректор Г. Я. Грухаль

Информ. бланк № 1770

Сдано в набор 26.11.81. Подписано в печать 03.06.82. БФ 03797. Формат 60×90^{1/16}. Бумага для множительных аппаратов. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 9,5. Усл. кр.-отт. 9,88. Уч.-изд. л. 10,31. Тираж 10 000 экз. Изд. № 68—81. Заказ № 2—1581. Цена 65 к.

Издательство «Будівельник». 252053. Киев-53, Обсерваторная, 26.
Отпечатано с матриц Головного предприятия республиканского производственного объединения «Полиграфкнига». 252057, Киев-57, ул. Довженко, 3, на Киевской фабрике печатной рекламы им. XXVI съезда КПСС, 252067, Киев-67, Выборгская, 84.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В программе экономического и социального развития нашей страны, намеченной XXVI съездом КПСС, важная роль отведена строительству. В одиннадцатой пятилетке капитальные вложения в народное хозяйство предстоит увеличить на 12—15%, их общий объем составит 711—730 млрд. рублей. Намечено повысить уровень индустриализации строительного производства и степень заводской готовности конструкций и деталей, расширить применение новых эффективных конструкций, полнее использовать местные строительные материалы.

В сельском строительстве планируется всемерно повышать эффективность капитальных вложений производственного назначения, используя их, в первую очередь, для создания мощностей по первичной переработке сельскохозяйственной продукции, строительства складов и хранилищ, реконструкции и расширения животноводческих помещений и других объектов. Опережающими темпами будет осуществляться на селе строительство благоустроенных жилых домов, детских дошкольных учреждений, клубов и других объектов культурно-бытового назначения.

Существенную роль при решении этих задач призван сыграть железобетон. Он является и на ближайшую перспективу останется основным конструктивным строительным материалом. Практически нет такой области строительства, где бы не применялись железобетонные конструкции. Очень широко они используются и в сельском строительстве.

Для оказания помощи сельским строителям и проектировщикам в вопросах проектирования и возведения таких конструкций и предпринято издание настоящей книги. Наряду с практическими рекомендациями по расчету, выбору диаметров арматурных стержней, назначению расстояния между ними в ней приведены примеры расчета и конструирования наиболее часто применяемых в сельском строительстве железобетонных конструкций.

Главы 1—3 и § 4.1—4.5 главы 4 написаны П. Ф. Вахненко, остальные В. П. Вахненко.

Авторы выражают глубокую благодарность Л. Е. Дробязко и В. В. Сандубре (Укрколхозпроект) за ценные замечания, сделанные ими при рецензировании рукописи; профессору М. С. Торяннику, Н. Н. Богомоловой, А. М. Кузьменко, Ю. М. Руденко, Л. В. Фалееву и Н. Н. Губию (Полтавский ИСИ), Ю. Н. Саенко и А. А. Ляхницкому (Укрсовхозпроект) за помощь в подготовке рукописи.

Раздел I. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Глава 1. ИЗГИБАЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

§ 1.1. Общие сведения

Разрушение изгибаемых элементов может произойти по нормальному (от изгибающего момента) или наклонному (от поперечной силы или момента) сечению. Сопротивление действию изгибающего момента оказывают бетон сжатой зоны и продольная арматура, расположенная в растянутой зоне. При ограниченных размерах сечения элемента сжатого бетона бывает недостаточно для восприятия сжимающего усилия, в этом случае продольная арматура ставится и в сжатой зоне. Сопротивление поперечной силе оказывают бетон сжатой зоны и поперечная арматура (хомуты). Иногда (при вязаных каркасах) для восприятия поперечной силы ставят и отгибы.

Таким образом задачей расчета является определение таких размеров сечения элементов, площади поперечного сечения продольной арматуры, диаметра и шага поперечных стержней, при которых разрушение от расчетной нагрузки не произойдет ни по нормальному, ни по наклонному сечению. В задачу расчета, кроме того, входит обеспечение необходимых требований трещиностойкости указанных сечений и жесткости элемента.

Размеры сечения железобетонных элементов назначают исходя из архитектурных, конструктивных и других соображений. Во всех случаях принятые размеры должны удовлетворять условию

$$Q \leq 0,35 R_{np} b h_0. \quad (1.1)$$

Для изгибаемых элементов без предварительного напряжения в большинстве случаев применяют бетон марки М 200 — М 300, для предварительно напряженных элементов — бетон марки М 300—М 500. При использовании бетонов проектных марок выше М 400 величина R_{np} в формуле (1.1) принимается как для бетона марки М 400.

Выбор арматурных сталей следует производить в соответствии с пп. 2.20.—2.25 СНиП II-21-75. Для продольных ненапрягаемых стержней наиболее употребительна арматурная сталь классов А-III, А-II, Вр-I и В-I; для предварительно напряженных — А-IV, А-V, Ат-V, Ат-VI, В-II, Вр-II и К-7; для поперечных стержней — А-I, А-II, А-III и В-I. Для монтажных стержней применяется преимущественно сталь классов А-I и А-II.

Армирование балок производится сварными, реже — вязаными каркасами. Продольная рабочая арматура размещается в растянутой зоне в соответствии с эпюрой моментов. По сечению она располагается в зависимости от количества в один или два ряда с зазорами (рис. 1.1).

Поперечную арматуру на приопорных участках длиной $1/4$ пролета рекомендуется ставить на расстоянии:

не более $1/3 h$ и не более 150 мм — при высоте сечения $h \leq 450$ мм;

не более $1/3 h$ и не более 500 мм — при $h > 450$ мм.

На остальной части пролета при $h > 300$ мм поперечную арматуру рекомендуется ставить на расстоянии $8/16 h$, но не более 500 мм.

Плиты армируются сварными или вязаными сетками, расстояние между рабочими стержнями в которых должно быть не более 20 см (рис. 1.2). Располагаются они в растянутой зоне в соответствии с эпюрой моментов. Поперечная (вертикальная) арматура в плитах не ставится.

Подробные указания по конструированию железобетонных элементов изложены в Руководстве по конструированию бетонных и железобетонных конструкций [7].

Изгибаемые элементы сравнительно больших пролетов, в которых используются бетон и сталь высоких марок и классов, делают предварительно напряженными. Это

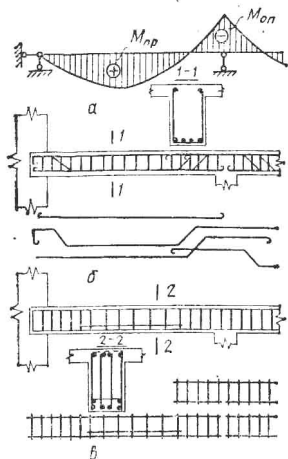
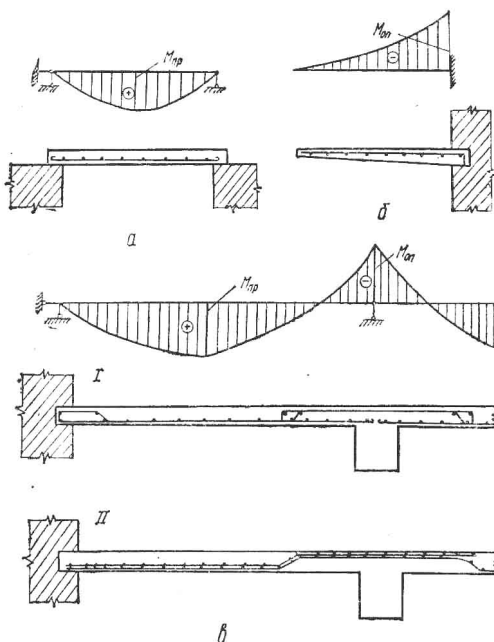


Рис. 1.1. Схема армирования балок:

а — эпюра изгибающих моментов; б, а — армирование соответственно вязаными и сварными каркасами

Рис. 1.2. Схема армирования плит:

а — однопролетных; б — консольных; в — многопролетных; I, II — соответственно вязаными и сварными сетками



обуславливается необходимостью повышения трещиностойкости и жесткости таких элементов. Предварительному напряжению в подавляющем большинстве случаев подвергается лишь продольная растянутая арматура. Однако в ряде случаев (для повышения трещиностойкости на стадии монтажа) может возникнуть необходимость предварительного напряжения и арматуры, расположенной в сжатой зоне. Следовательно, в самом общем случае в сечении изгибаемого элемента может быть обычная и предварительно напряженная арматура, расположенная в растянутой и сжатой зонах.

§ 1.2. Элементы прямоугольного сечения с одиночной арматурой

В связи с тем, что сжимающие усилия хорошо воспринимаются бетоном и арматура, как правило, нужна лишь для восприятия растягивающих усилий, экономичным является одиночное армирование, когда рабочая арматура (обычная с площадью сечения F_a или предварительно напряженная с площадью сечения F_n) располагается только в растянутой зоне.

Для обеспечения прочности сечения (рис. 1.3) необходимо соблюдение условия:

$$M \leq M_{сеч} = bxR_{пр} (h_0 - 0,5x) \quad (1.2)$$

или

$$M \leq M_{сеч} = (F_a R_a + F_n R_{a,n} m_{a4}) (h_0 - 0,5x). \quad (1.3)$$

Входящую в формулы (1.2) и (1.3) высоту сжатой зоны x можно получить из уравнения

$$R_{пр} bx = F_a R_a + F_n R_{a,n} m_{a4}. \quad (1.4)$$

Заметим, что эта высота не может превышать ее граничную величину $x_{гр}$. Иначе говоря, формулы (1.2), (1.3) и (1.4) применимы при соблюдении условия

$$x \leq x_{гр}. \quad (1.5)$$

Введя обозначение относительной высоты сжатой зоны $\xi = x/h_0$ и произведя преобразования, эти формулы можно представить в виде, удобном для табулирования:

$$M \leq M_{\text{сеч}} = A_0 b h_0^2 R_{\text{пр}}; \quad (1.2a)$$

$$M \leq M_{\text{сеч}} = (F_a R_a + F_n R_{a,n} m_{a4}) v h_0 = N_a v h_0; \quad (1.3a)$$

$$\xi b h_0 R_{\text{пр}} = F_a R_a + F_n R_{a,n} m_{a4} = N_a. \quad (1.4a)$$

где

$$A_0 = \xi (1 - 0,5\xi); \quad (1.6)$$

$$v = 1 - 0,5\xi; \quad (1.7)$$

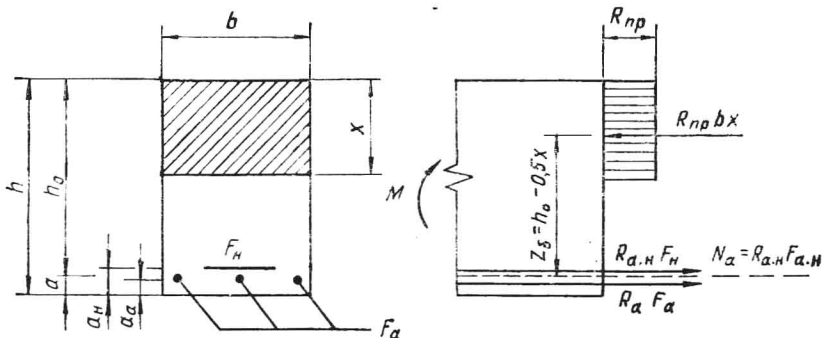


Рис. 1.3. Расчетная схема нормального сечения изгибаемого элемента с одиночной арматурой

m_{a4} — коэффициент условий работы напрягаемой (высокопрочной) арматуры, определяемый по формуле

$$m_{a4} = \bar{m}_{a4} - (\bar{m}_{a4} - 1) \frac{\xi}{\xi_R}; \quad (1.8)$$

$\bar{m}_{a4}$ — максимальное значение коэффициента m_{a4} , принимаемое в соответствии с п. 3.13 СНиП II-21-75.

Условие (1.5) можно записать в виде

$$\xi \leq \xi_R \quad (1.5a)$$

или

$$A_0 \leq A_R. \quad (1.5b)$$

Коэффициенты ξ , A_0 и v , характеризующие высоту сжатой зоны бетона x , однозначно связанные между собой, приведены в табл. 18 [8], из которой по одному из них можно найти два других.

Входящее в равенства (1.3) и (1.4) выражение $F_a R_a + F_n R_{a,n} m_{a4} = N_a$ представляет собой усилие, воспринимаемое всей растянутой арматурой. Оно практически не зависит от наличия и величины предварительного напряжения арматуры. Поэтому для упрощения и унификации расчетов обычных и предварительно напряженных элементов целесообразно ввести понятие обобщенной площади растянутой арматуры $F_{a,n}$ и усилие N_a назвать обобщенным. Оно будет равно

$$N_a = F_a R_a + F_n R_{a,n} m_{a4} = F_{a,n} R_{a,n}. \quad (1.9)$$

Граничное значение относительной высоты сжатой зоны бетона определяется по эмпирической формуле

$$\xi_R = \frac{\xi_0}{1 + \frac{\sigma_A}{\sigma_e} \left(1 - \frac{\xi_0}{1,1} \right)}, \quad (1.10)$$

где ξ_0 — относительная высота условной сжатой зоны, соответствующая нулевым напряжениям в растянутой арматуре. Для элементов из тяжелого бетона

$$\xi_0 = 0,85 - 0,0008R_{пр}; \quad (1.11)$$

$\sigma_s = 4000$ при $m_{\sigma 1} = 1$ и $m_{\sigma 1} = 1,1$ (см. табл. 15 СНиП II-21-75); $\sigma_s = 5000$ при $m_{\sigma 1} = 0,85$.

Величина напряжения в арматуре σ_A , кгс/см², для арматуры классов А-I, А-II, А-III, В-I и Вр-I принимается равной

$$\sigma_A = R_a - \sigma_0; \quad (1.12)$$

для арматуры классов А-IV, Ат-IV, А-V, Ат-V, Ат-VI, В-II, Вр-II и К-7

$$\sigma_A = R_a + 4000 - \sigma_0. \quad (1.12a)$$

При расчете прочности прямоугольных сечений с одиночной арматурой проектировщикам приходится решать задачи трех типов.

Задача типа I. Известны размеры сечения b и h , изгибающий момент M и условия работы конструкции. Требуется подобрать необходимое количество растянутой арматуры.

Прежде чем приступить к решению задачи, необходимо, руководствуясь техническими и экономическими соображениями, в зависимости от вида и назначения конструкции, условий ее эксплуатации назначить вид и марку бетона, класс арматурной стали и по СНиП II-21-75 установить $m_{\sigma 1}$, $R_{пр}$ и R_a .

Решать задачу (схема 1.1) можно в одинаковой последовательности для обычных и предварительно напряженных конструкций. Начинается она с назначения величины a (см. рис. 1.3) и определения рабочей высоты сечения $h_0 = h - a$. Затем последовательно по формулам (1.11) и (1.10) вычисляют значения ξ_0 и ξ_R , а по табл. 18 [8] или формуле (1.6) — значения A_R .

Далее по формуле (1.2a) определяют A_0 и проверяют условие (1.56). При соблюдении его по табл. 18 [8] или по формулам (1.6) и (1.7) находят ξ и σ , а по формуле (1.4a) или (1.3a) — усилие N_a .

Из равенства (1.9) находят требуемую обобщенную площадь арматуры $F_{a,н}$, а затем — ее составляющие F_a и F_n в зависимости от того, какую конструкцию проектируют (обычную или предварительно напряженную). В обычных конструкциях $F_a = F_{a,н}$. В предварительно напряженных сначала по конструктивным соображениям назначают величину F_a (как правило, она принимается минимальной), а затем, определив m_{a4} по формуле (1.8), из равенства (1.9) вычисляют F_n .

Решение задачи типа I для предварительно напряженных элементов без учета предварительного напряжения дает некоторую погрешность. Однако следует заметить, что задача этого типа решается в самом начале проектирования конструкции, когда величина предварительного напряжения σ_0 еще неизвестна. Она устанавливается в последующих расчетах по предельным состояниям второй группы, в ходе которых может даже возникнуть необходимость в увеличении ранее площади предварительно напряженной арматуры F_n . Поэтому, как правило, на завершающем этапе расчетов, когда станут известны практически окончательные значения F_a , F_n , σ_0 , a и др., производится проверка прочности, т. е. решается задача типа III. Следовательно, допущенная при решении задачи типа I погрешность, во-первых, неизбежна во всех случаях, во-вторых, незначительна и, в-третьих, при последующих расчетах устраняется.

Несоблюдение условия (1.5) указывает на то, что даже максимально возможной при данных размерах сечения величины сжатой зоны бетона недостаточно для уравнивания растянутой арматуры и что разрушение, следовательно, произойдет по сжатой зоне. Напряжения в растянутой арматуре при этом останутся меньше предельных, т. е. арматура используется не полностью.

Поэтому при несоблюдении в ходе решения задачи типа I условия (1.56) необходимо либо увеличить размеры сечения, либо усилить сжатую зону арматурой, т. е. перейти к двойному армированию.

Исходные данные: $M, b, h, R_{\text{пр}}, R_a, R_{a,n}, a$

1. $h_0 = h - a;$

2. $\xi_0 = 0,85 - 0,0008R_{\text{пр}};$

3. В зависимости от вида арматуры принимаем $\sigma_A = R_{a,n}$ или $\sigma_A = R_{a,n} + 400;$

4. $\xi_R = \frac{\xi_0}{1 + \frac{\sigma_A}{\sigma_e} \left(1 - \frac{\xi_0}{1,1}\right)};$

5. $A_R = \xi_R (1 - 0,5\xi_R);$

6. $A_0 = \frac{M}{bh_0^2 R_{\text{пр}}};$

7. При $A_0 \leq A_R$ по табл. 18 [8] находим ξ или $\mu;$ | При $A_0 > A_R$ требуется увеличить размеры сечения или поставить сжатую арматуру (см. схему 1.4);

8. $m_{a4} = \bar{m}_{a4} - (\bar{m}_{a4} - 1) \frac{\xi}{\xi_R};$

9. $N_a = \xi b h_0 R_{\text{пр}};$

10. $F_{a,n} = \frac{N_a}{R_{a,n}};$

11. $F_{a,\text{мин}} = \mu_{\text{мин}} b h_0;$

12. Подбираем арматуру с учетом

$$F_{a,n} R_{a,n} = F_a R_a + F_n R_{a,n} m_{a4}.$$

При подборе диаметра и количества стержней необходимо стремиться к тому, чтобы площадь сечения всей подобранной арматуры была не меньше не только полученной при расчете, но и минимальной ее величины $F_{a,\text{мин}} = \mu_{\text{мин}} b h_0$, где $\mu_{\text{мин}}$ — минимальный процент армирования, принимаемый по табл. 44 [8].

Задача типа II. Известен изгибающий момент M и условия работы конструкции. Как и в предыдущей задаче, назначаются вид и марка бетона, класс арматурной стали и определяются величины $m_{\phi 1}, R_{\text{пр}}$ и R_a . Требуется подобрать размеры сечения b и h и количество растянутой арматуры.

Как видим, в этой задаче четыре неизвестные величины: $b, h, F_{a,n}$ и x . Уравнений равновесия два: (1.2) или (1.3) и (1.4). Следовательно, необходимы дополнительные технико-экономические условия:

размеры сечения рекомендуется принимать исходя из соотношения $h/b = 2...3$. Это объясняется тем, что на несущую способность сечения его высота h оказывает большее влияние, чем ширина b (см. уравнение (1.2а), где величина h_0 взята во второй степени);

процент армирования μ следует принимать оптимальным, наиболее экономичным. Для балок $\mu_{\text{опт}} = 0,8...2\%$, для плит $\mu_{\text{опт}} = 0,5...1\%$.

Таким образом, при решении задачи типа II (схема 1.2) задаемся оптимальным процентом армирования. Затем из равенств (1.4а) и (1.9) находим $\xi = \frac{F_{a,n}}{b h_0} \times$

$$\times \frac{R_{a,n}}{R_{\text{пр}}} = \mu \frac{R_{a,n}}{R_{\text{пр}}}, \text{ а по табл. 18 [8] или формуле (1.6) — } A_0.$$

Пользуясь формулой (1.2а) и задаваясь в пределах рекомендуемого соотношения $\frac{h}{b}$ шириной b , путем последовательного приближения находим рабочую высоту $h_0 = \sqrt{\frac{M}{A_0 b R_{пр}}}$. Полную высоту найдем после ориентировочного назначения a (см. рис. 1.3) : $h = h_0 + a$.

Принятые размеры балок b и h должны быть округлены до величины: $b = 12; 15; 18; 20; 22; 25$ и далее через 5 см; $h = 25; 30$ и далее через 5 см до $h = 50$ см и через 10 см — при $h > 50$ см. После определения таким образом размеров b и h задача типа II превращается в задачу типа I, с решением которой мы уже знакомы.

Схема 1.2

Исходные данные: $M, R_{пр}, R_a, R_{a,n}, h/b, a, \mu_{опт}$

1. $\xi = \mu_{опт} \frac{R_{a,n}}{R_{пр}};$
2. По табл. 18 [8] находим A_0 ;
3. $h_0 = \sqrt{\frac{M}{A_0 b R_{пр}}}$; при этом добиваемся соблюдения принятого отношения h/b ;
4. $h = h_0 + a$; полученную высоту h округляем до унифицированной величины;
5. Переходим к схеме 1.1.

Задача типа III. Известны все параметры, характеризующие изгибаемый элемент и условия его работы: размеры сечения b и h , количество арматуры $F_{a,n}$ (F_a и F_n) и ее размещение (a), условия работы бетона (m_{61}), его марка ($R_{пр}$) и класс арматурной стали (R_a), величина предварительного напряжения с учетом всех потерь σ_{02} , изгибающий момент M и т. д. Требуется проверить несущую способность элемента.

При решении задачи (схема 1.3) последовательно вычисляют $h_0 = h - a$; ξ_0 по формуле (1.11); σ_A по формуле (1.12) или (1.12а) и ξ_R по формуле (1.10). Затем по формуле (1.4а) определяют коэффициент ξ , корректируя при этом коэффициент m_{a4} в соответствии с величиной ξ . При соблюдении условия (1.5а) по табл. 18 [8] или по формуле (1.6) или (1.7) вычисляют A_0 или ν . Наконец, проверяют условие (1.2а) или (1.3а), соблюдение которого свидетельствует о достаточной несущей способности проверяемого элемента.

При несоблюдении условия (1.5а) в формуле (1.2а) принимают $A_0 = A_R$.

Схема 1.3

Исходные данные: $M, b, h, F_a, F_{a,n}, a, R_{пр}, R_a, R_{a,n}, \sigma_{02}$.

1. $h_0 = h - a$;
2. $\xi_0 = 0,85 - 0,0008 R_{пр}$;
3. В зависимости от вида арматуры определяем $\sigma_A = R_{a,n} - \sigma_{02}$ или $\sigma_A = R_{a,n} + 4000 - \sigma_{02}$;
4. $\xi_R = \frac{\xi_0}{1 + \frac{\sigma_A}{\sigma_s} \left(1 - \frac{\xi_0}{1,1}\right)}$;
5. $A_R = \xi_R (1 - 0,5 \xi_R)$;

$$6. \text{ По формулам } \xi = \frac{R_a F_a + R_{a,n} m_{a4} F_n}{b h_0 R_{np}} \text{ и } m_{a4} = \bar{m}_{a4} - (\bar{m}_{a4} - 1) \frac{\xi}{\xi_R}$$

путем последовательного приближения вычисляем ξ ;

7. При $\xi \leq \xi_R$ по табл. 18 [8] определяем A_0 ;

При $\xi > \xi_R$ переходим к п. 8;

$$8. M_{сеч} = A_0 b h_0^2 R_{np};$$

$$M_{сеч} = A_R b h_0^2 R_{np};$$

9. Проверяем условие

$$M \leq M_{сеч}.$$

§ 1.3. Элементы прямоугольного сечения с двойной арматурой

Двойное армирование применяется только в двух случаях:

при изменении знака действующего изгибающего момента, когда арматура, подобранная как растянутая на действие момента одного знака, становится сжатой при действии момента другого знака;

при ограниченных размерах сечения, когда необходимо усиление сжатой зоны. Такая необходимость возникает при решении задачи типа I, когда после определения A_0 обнаруживается несоблюдение условия (1.56).

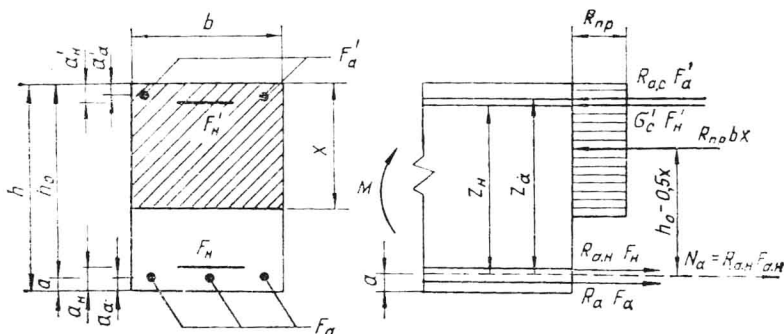


Рис. 1.4. Расчетная схема нормального сечения изгибаемого элемента с двойной арматурой

Основные расчетные уравнения для элементов прямоугольного сечения с двойной арматурой имеют вид (рис. 1.4);

$$M \leq M_{сеч} = A_0 R_{np} b h_0^2 + R_{a,c} F'_a z_a + \sigma'_c F'_n z_n; \quad (1.13)$$

$$R_{np} \xi b h_0 + R_{a,c} F'_a + \sigma'_c F'_n = R_a F_a + m_{a4} R_{a,n} F_n = R_{a,n} F_{a,n} = N_a. \quad (1.14)$$

Сжатая ненапрягаемая арматура F'_a нужна только в том случае, когда прочность полностью используемой сжатой зоны бетона ($x = x_{гр}$ или $\xi = \xi_R$ или $A_0 = A_R$) недостаточна и ее необходимо усилить. Поэтому, приняв $A_0 = A_R$ и решив уравнение (1.13) относительно F'_a , получим

$$F'_a = \frac{M - A_R R_{np} b h_0^2 - \sigma'_c F'_n z_n}{R_{a,c} z_a}. \quad (1.15)$$

Уравнение (1.13) можно решить также относительно A_0

$$A_0 = \frac{M - R_{a,c} F'_a z_a - \sigma'_c F'_n z_n}{R_{np} b h_0^2}, \quad (1.16)$$

а уравнение (1.14) — относительно $F_{a,n}$

$$F_{a,n} = \frac{R_{np} \xi b h_0 + R_{a,c} F'_a + \sigma'_c F'_n}{R_{a,n}}. \quad (1.17)$$

или ξ

$$\xi = \frac{m_{a4} R_{a,n} F_n + R_a F_a - R_{a,c} F'_a - \sigma'_c F'_n}{R_{np} b h_0}. \quad (1.18)$$

В формулах (1.15) — (1.18) $\sigma'_c = R_{a,c} - m_T \sigma_{02}$.

При расчете элементов с двойной арматурой встречаются три типа задач.

Задача типа I. Известны размеры сечения b и h , изгибающий момент M и расчетные характеристики материалов R_{np} , R_a и $R_{a,c}$. Требуется определить площадь сжатой и растянутой арматуры.

При такой постановке задачи предварительно напряженная арматура F'_n , расположенная в сжатой зоне, не нужна, так как она не только не повышает несущую способность элемента, но даже снижает ее (σ'_c). Поэтому в расчете принимают $F'_n = 0$.

Необходимость сжатой арматуры F'_a выявляется только в ходе расчета, поэтому решение задачи (схема 1.4) начинается как при одиночном армировании. Если $A_0 > A_R$ и увеличение размеров сечения невозможно или нецелесообразно, переходят к двойному армированию и требуемую площадь сечения сжатой арматуры определяют по формуле (1.15).

После подбора по полученной площади F'_a арматурных стержней переходят к определению площади сечения растянутой арматуры по формуле (1.17). При этом возможны два случая:

1) подобранная площадь сжатой арматуры F'_a равна величине, полученной по формуле (1.15). В этом случае в формулу (1.17) подставляют $\xi = \xi_R$;

2) по конструктивным или иным соображениям подобранная площадь F'_a больше полученной в результате расчета по формуле (1.15). В этом случае величину ξ , подставляемую в формулу (1.17), находят из табл. 18 [8] или из равенства (1.6), предварительно вычислив A_0 по формуле (1.16).

Схема 1.4

Исходные данные: M , b , h , R_{np} , R_a , $R_{a,n}$, $R_{a,c}$, a , a'_a .

1—6. Решение начинается по схеме 1.1 (пп. 1—6);

7. При $A_0 \leq A_R$ сжатая арматура не нужна, расчет продолжается по схеме 1.1.

При $A_0 > A_R$ переходим к п. 8;

$$8. z_a = h - a - a'_a;$$

$$9. F'_a = \frac{M - A_R b h_0^2 R_{np}}{R_{a,c} z_a};$$

$$10. F'_{a, \min} = \mu_{\min} b h_0;$$

11. Подбираем арматурные стержни площадью сечения $F_{a,ф} \geq F'_a$ и $F'_{a,ф} \geq F'_{a, \min}$;

При $F'_{a,ф} > F'_a$	При $F'_{a,ф} = F'_a$
12. $A_0 = \frac{M - R_{a,c} F'_{a,ф} z_a}{R_{np} b h_0^2}$;	переходим к п. 14;
13. Определяем ξ по табл. 18 [8];	—
14. $F_{a,n} = \frac{\xi b h_0 R_{np} + R_{a,c} F'_{a,ф}}{R_{a,n}}$;	—
15. $m_{a4} = \bar{m}_{a4} - (\bar{m}_{a4} - 1) \frac{\xi}{\xi_R}$;	$F_{a,n} = \frac{\xi_R b h_0 R_{np} + R_{a,c} F'_{a,ф}}{R_{a,n}}$;
16. Подбираем арматуру с учетом	Переходим к п. 16;
$F_{a,n} R_{a,n} = F_n R_a + F_{II} R_{a,II} m_{a4}$	

Задача типа II. Известны не только размеры сечения и действующий момент, но и площадь сечения арматуры, расположенной в сжатой зоне (обычной F'_a , напрягаемой F'_n или той и другой). Известны также прочностные характеристики материалов и предварительное напряжение σ'_{02} . Необходимо определить площадь растянутой арматуры.

Такой тип задач встречается, когда действует знакопеременный изгибающий момент и полученная растянутая арматура при изменении знака момента оказывается в сжатой зоне либо когда сжатая арматура поставлена из конструктивных соображений.

При решении этой задачи (схема 1.5) из уравнения (1.16) находят A_0 и проверяют условие (1.5а). При соблюдении его по табл. 18 [8] или по формуле (1.6) определяют ξ , а по формуле (1.17) — искомую площадь.

Несоблюдение условия (1.5б) указывает на недостаточное количество сжатой арматуры F'_a и на необходимость ее увеличения. Требуемую площадь F'_a определяют по формуле (1.15), а $F_{a,n}$ — по формуле (1.17).

Схема 1.5

Исходные данные: M , b , h , F'_a , F'_n , a , a_a , a_n , R_{np} , $R_{a,c}$, σ'_{02} , m_T , R_a , $R_{a,n}$.

- $h_0 = h - a$;
- $z_a = h - a - a'_a$;
- $z_n = h - a - a'_n$;
- $\xi_0 = 0,85 - 0,0008 R_{np}$;
- В зависимости от вида арматуры принимаем $\sigma_A = R_{a,n}$ или $\sigma_A = R_{a,n} + 4000$;
- $\xi_R = \frac{\xi_0}{1 + \frac{\sigma_A}{\sigma_c} \left(1 - \frac{\xi_0}{1,1}\right)}$;
- $A_R = \xi_R (1 - 0,5 \xi_R)$;
- $\sigma'_c = R_{a,c} - m_T \sigma'_{02}$;
- $A_0 = \frac{M - R_{a,c} F'_a z_a - \sigma'_c F_n z_n}{R_{np} b h_0^2}$;

При $A_0 \leq A_R$	При $A_0 > A_R$
10. Определяем ξ по табл. 18 [8];	$F_a = \frac{M - A_R R_{пр} b h_0^2 - \sigma'_c F'_n z_n}{R_{a,c} z_n};$
11. Переходим к п. 14;	Подбираем арматурные стержни площадью сечения $F'_{a,ф} \geq F'_a$;
12. —	При $F'_{a,ф} > F'_a$
	$A_n = \frac{M - R_{a,c} F'_{a,ф} z_a - \sigma'_c F'_n z_n}{R_{пр} b h_0^2};$
13. —	Определяем ξ по табл. 18 [8];
14. $F_{a,n} = \frac{\xi b h_n R_{пр} + R_{a,c} F'_a + \sigma'_c F'_n}{R_{a,n}};$	$F_{a,n} = \frac{\xi b h_0 R_{пр} + R_{a,c} F'_{a,ф} + \sigma'_c F'_n}{R_{a,n}};$
	При $F_{a,ф} = F'_a$ переходим к п. 14;
	Переходим к п. 16;
15. $m_{a4} = \bar{m}_{a4} - (\bar{m}_{a4} - 1) \frac{\xi}{\xi_R};$	
16. Подбираем арматуру с учетом	
	$F_{a,n} R_{a,n} = F_a R_a + F_n R_{a,n} m_{a4}.$

Задача типа III. Известны размеры сечения элемента, площади сечения всей арматуры, прочностные характеристики материалов, величина предварительного напряжения (если оно есть), а также изгибающий момент. Требуется проверить несущую способность элемента.

При решении этой задачи (схема 1.6) из уравнения (1.18) с учетом формулы (1.8) находим ξ и проверяем условие (1.5а). При соблюдении его по табл. 18 [8] или по формуле (1.6) находим величину A_0 и, наконец, проверяем условие (1.13).

При несоблюдении условия (1.5а) в формуле (1.13) следует принять $A_0 = A_R$.

Если полученная величина $\xi \leq 0$, то прочность проверяется из условия

$$M \leq (\bar{m}_{a4} R_{a,n} F_n + R_a F_a) (h_n - a'). \quad (1.19)$$

Схема 1.6

Исходные данные: $M, b, h, F_a, F_n, F'_a, F'_n, a, a'_a, a'_n, R_{пр}, R_a, R_{a,c}, R_{a,n},$

$\sigma_{02}, \sigma'_{02}, m_T.$

- $h_0 = h - a;$
- $z_a = h - a - a'_a;$
- $z_n = h - a - a'_n;$
- $\xi_0 = 0,85 - 0,0008 R_{пр};$
- В зависимости от вида арматуры принимаем $\sigma_A = R_a - \sigma_0$ или $\sigma_A = R_a + 4000 - \sigma_{02};$
- $\xi_R = \frac{\xi_0}{1 + \frac{\sigma_A}{\sigma'_c} \left(1 - \frac{\xi_0}{1,1}\right)};$

$$7. A_R = \xi_R (1 - 0,5\xi_R);$$

$$8. \sigma'_c = R_{a,c} - m_T \sigma_{02};$$

$$9. \text{ По формулам } \xi = \frac{m_{a4} R_{a,n} F_n + R_a F_a - R_{a,c} F'_a - \sigma'_c F'_n}{R_{np} b h_n} \text{ и } m_{a4} = \bar{m}_{a4} -$$

$$-(\bar{m}_{a4} - 1) \frac{\xi}{\xi_R} \text{ путем последовательного приближения вычисляем } \xi;$$

При $\xi \leq \xi_R$

10. Определяем A_0 по табл. 18 [8];

$$11. M_{сеч} = A_0 R_{np} b h_0^2 + R_{a,c} F'_a z_a + \sigma'_c F'_n z_n;$$

При $\xi > \xi_R$

Переходим к п. 11;

$$M_{сеч} = A_R b h_0^2 R_{np} + R_{a,c} F'_a z_a + \sigma'_c F'_n z_n;$$

12. При $M > M_{сеч}$ необходимо увеличить размеры сечения элемента или количество арматуры и повторить расчет; при $M \leq M_{сеч}$ — несущая способность элемента обеспечена, расчет окончен.

§ 1.4. Элементы таврового и двутаврового сечения

Размеры тавровых и двутавровых сечений изгибаемых элементов обычно бывают известны: их назначают, руководствуясь конструктивными и другими соображениями. При введении этих размеров в расчет необходимо соблюдать требования, сформулированные в п. 3.24 [8]. Расчет сечений изгибаемых элементов, имеющих полку в сжатой зоне, в зависимости от положения границы этой зоны производят для двух случаев:

1) сжатая зона полностью расположена в пределах полки, т. е. $x \leq h'_n$ (рис. 1.5, а). В этом случае тавровые и двутавровые сечения рассчитываются как прямоугольные размерами b'_n и h_0 ;

2) нижняя граница сжатой зоны расположена в ребре, т. е. $x > h'_n$ (см. рис. 1.5, б). Основные расчетные уравнения для этого случая имеют вид

$$M \leq M_{сеч} = A_0 R_{np} b h_0^2 + R_{np} (b'_n - b) h'_n (h_0 - 0,5h'_n) + R_{a,c} F'_a z_a + \sigma'_c F'_n z'_n; \quad (1.20)$$

$$\xi b h_0 R_{np} + R_{np} (b'_n - b) h'_n + R_{a,c} F_a + \sigma_c F'_n = m_{a4} R_{a,n} F_n + R_a F_a = R_{a,n} F_{a,n} = N_a. \quad (1.21)$$

Для выявления случая положения нижней границы сжатой зоны пользуются неравенствами

$$m_{a4} R_{a,n} F_n + R_a F_a \leq R_{np} b'_n h'_n + R_{a,c} F'_a + \sigma'_c F'_n \quad (1.22)$$

или

$$M \leq M_n = R_{np} b'_n h'_n (h_0 - 0,5h'_n) + R_{a,c} F'_a z_a + \sigma'_c F'_n z_n. \quad (1.23)$$

Соблюдение этих неравенств характерно для первого случая, несоблюдение — для второго.

Как и для прямоугольных сечений, сжатая арматура F'_a может быть получена исходя из условия полного использования сжатой зоны бетона ($A_0 = A_R$). Поэтому,

решая уравнение (1.20) относительно F'_a , получим

$$F'_a = \frac{M - A_R R_{np} b h_0^2 - R_{np} (b'_n - b) h'_n (h_0 - 0,5 h'_n) - \sigma'_c F'_n z_n}{R_{a,c} z_a} \quad (1.24)$$

Уравнение (1.20) можно также решить относительно A_0

$$A_0 = \frac{M - R_{np} (b'_n - b) h'_n (h_0 - 0,5 h'_n) - R_{a,c} F'_a z_a - \sigma'_c F'_n z_n}{R_{np} b h_0^2} \quad (1.25)$$

а уравнение (1.21) — относительно $F_{a,n}$

$$F_{a,n} = \frac{\xi b h_0 R_{np} + R_{np} (b'_n - b) h'_n + R_{a,c} F'_a + \sigma'_c F'_n}{R_{a,n}} \quad (1.26)$$

или ξ

$$\xi = \frac{m_{a4} R_{a,n} F_n + R_a F_a - R_{np} (b'_n - b) h'_n - R_{a,c} F'_a - \sigma'_c F'_n}{b h_0 R_{np}} \quad (1.27)$$

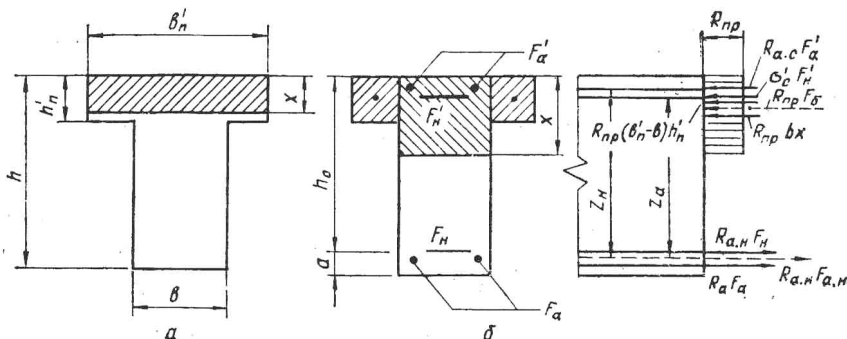


Рис. 1.5. Расчетная схема таврового сечения изгибаемого элемента:

a, b — соответственно первый и второй случаи положения нейтральной оси

При расчете элементов таврового и двутаврового сечений встречаются три типа задач. Все они аналогичны соответствующим задачам для прямоугольного сечения с двойным армированием, поэтому и ход их решения аналогичен.

Задача типа I. По заданным размерам сечения, расчетному изгибающему моменту и прочностным показателям материалов требуется определить площадь сечения всей арматуры (схема 1.7).

Схема 1.7

Исходные данные: $M, b, h, b'_n, h'_n, a, a', R_{np}, R_a, R_{a,n}, R_{a,c}$.

1. $h_a = h - a$;

2. $\xi_0 = 0,85 - 0,0008 R_{np}$;

3. В зависимости от вида арматуры принимаем $\sigma_A = R_{a,n}$ или $\sigma_A = R_{a,n} + 4000$;

4. $\xi_R = \frac{\xi_0}{1 + \frac{\sigma_A}{\sigma_c} \left(1 - \frac{\xi_0}{1,1}\right)}$;

5. $A_R = \xi_R (1 - 0,5 \xi_R)$;

6. Принимаем $F'_n = 0$; $F'_a = 0$;

7. $M_n = R_{np} b'_n h'_n (h_0 - 0,5 h'_n)$;

8. При $M \leq M_{\text{п}}$ дальнейший расчет ведем по схеме 1.1, приняв $b = b'_{\text{п}}$; при $M > M_{\text{п}}$ — переходим к п. 9.

9. $F_{\text{а.мин}} = F'_{\text{а.мин}} = bh_{0\text{п.мин}}$;

10. $A_0 = \frac{M - R_{\text{пр}} (b'_{\text{п}} - b) h'_{\text{п}} (h_0 - 0,5h'_{\text{п}})}{R_{\text{пр}} bh_0^2}$;

При $A_0 \leq A_R$

При $A_0 > A_R$

11. Определяем ξ по табл. 18 [8];

$$z_a = h - a - a'_a$$

12. Переходим к п. 16;

$$F'_a = \frac{M - A_R R_{\text{пр}} bh_0^2 - R_{\text{пр}} (b'_{\text{п}} - b) h'_{\text{п}} (h_0 - 0,5h'_{\text{п}})}{R_{\text{а.с}} z_a}$$

13. —

Подбираем арматурные стержни площадью сечения

$$F'_a \leq F'_{\text{а.ф}} \leq F'_{\text{а.мин}}$$

14. —

При $F'_a < F'_{\text{а.ф}}$

При $F'_{\text{а.ф}} = F'_a$

$$M - R_{\text{пр}} (b'_{\text{п}} - b) h'_{\text{п}} (h_0 - 0,5h'_{\text{п}}) - R_{\text{а.с}} F'_{\text{а.ф}} z_a$$

переходим к п. 16

$$A_0 = \frac{M - R_{\text{пр}} bh_0^2}{R_{\text{пр}} bh_0^2}$$

15. —

Определяем ξ по табл. 18 [8];

$$\xi bh_0 R_{\text{пр}} + R_{\text{пр}} (b'_{\text{п}} - b) \times$$

$$\xi_R bh_0 R_{\text{пр}} + (b'_{\text{п}} - b) \times$$

16. $F_{\text{а.н}} =$

$$F_{\text{а.н}} = \frac{\xi bh_0 R_{\text{пр}} + R_{\text{пр}} (b'_{\text{п}} - b) h'_{\text{п}} + R_{\text{а.с}} F'_{\text{а.ф}}}{R_{\text{а.н}}}$$

$$F_{\text{а.н}} = \frac{\xi_R bh_0 R_{\text{пр}} + (b'_{\text{п}} - b) h'_{\text{п}} R_{\text{пр}} + R_{\text{а.с}} F'_{\text{а.ф}}}{R_{\text{а.н}}}$$

$$= \frac{\xi bh_0 R_{\text{пр}} + R_{\text{пр}} (b'_{\text{п}} - b) h'_{\text{п}}}{R_{\text{а.н}}}$$

17. $m_{a4} = \bar{m}_{a4} - (\bar{m}_{a4} - 1) \frac{\xi}{\xi_R}$;

18. Подбираем арматуру с учетом

$$F_a R_a + F_n R_{\text{а.н}} m_{a4} = F_{\text{а.н}} R_{\text{а.н}}$$

Задача типа II. По заданным размерам сечения, расчетному изгибающему моменту, площади сечения арматуры, расположенной в сжатой зоне, и прочностным показателям материалов определить площадь сечения растянутой арматуры (схема 1.8).

Схема 1.8

Исходные данные: $M, b, h, b_{\text{п}}, h'_{\text{п}}, a, a'_a, a'_n, F'_a, F'_n, R_{\text{пр}}, R_a, R_{\text{а.н}}, R_{\text{а.с}}, \sigma_{02}, m_{\text{т}}$.

1. $h_0 = h - a$;

2. $z_a = h - a - a'_a$;

3. $z_n = h - a - a'_n$;

4. $\xi_0 = 0,85 - 0,0008 R_{\text{пр}}$;