

# ПРАКТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА РЕШЕТЧАТЫХ БАЛОК ПО ПРОЧНОСТИ

**В ПОМОЩЬ ПРОЕКТИРОВЩИКУ**

Двухтавровые балки покрытий пролетами 12 и 18 м с середины 1970-х годов были постепенно вытеснены более технологичными решетчатыми балками (рис. 1).

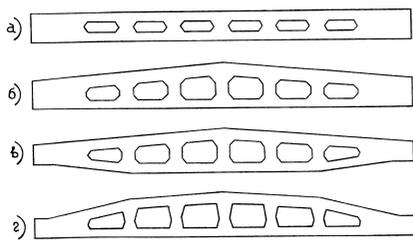


Рис. 1. Типы решетчатых балок: а) с параллельными поясами, б) двускатные, в) двускатные с отогнутой арматурой, г) арочные

Вначале это были конструкции типовой серии 1.462-3 для двускатной кровли с уклоном 1:12, затем к ним добавились балки с параллельными поясами пролетом 12 м [1], затем балки с арочным (ломаным) верхним поясом пролетами 12 и 18 м [2, 3]. Последние оказались на 15...25% экономичнее типовых двускатных по расходу бетона и арматуры и потому их массовое производство и применение было освоено во многих регионах страны. Кроме того, в Красноярске было освоено серийное производство двускатных балок с ломаным нижним поясом [4].

После известных событий 1991-93 годов промышленное строительство в России было практически прекращено, в связи с чем прекратилось и производство решетчатых балок. Однако с использованием таких балок в стране были сооружены сотни производственных зданий, немалая часть которых в последнее десятилетие меняет свое назначение и подвергается реконструкции, зачастую с существенным изменением нагрузок.

Разработка грамотного проекта реконструкции невозможна без расчета действительной несущей способности решетчатых балок, а между тем методика их расчета в нормативной, спра-

вочной и даже в общедоступной учебной литературе никак не представлена. Стремлением восполнить этот пробел и вызвать на эту статью.

## Статическая схема балок.

Балки представляют собой стержневые статически неопределимые системы с жесткими узлами (рамы) и с жесткими дисками в опорных участках (рис. 2). Как показали опыты, такая схема достаточно точно отражает работу балок в начальный период — до приложения нормативных (эксплуатационных) нагрузок, т.е. до тех пор, пока в нижнем поясе трещины малы или вообще отсутствуют.

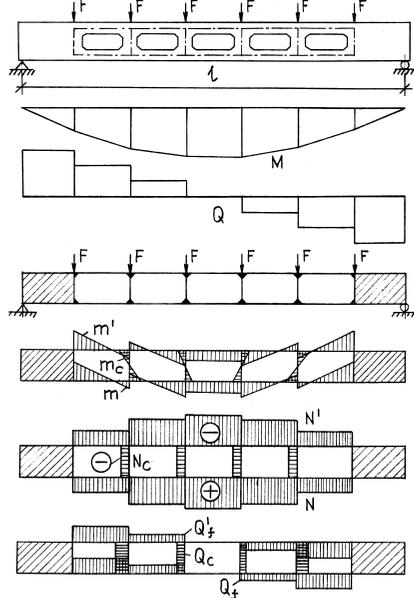


Рис. 2. Усилия в балке:  $M, Q$  — балочные изгибающие моменты и поперечные силы,  $m, N, Q_f, Q_c$  — усилия в стержнях решетки

Иными словами, стержни поясов и стоек можно рассчитывать по упругой схеме при проверке их трещиностойкости и общей жесткости балок. При этом панели нижнего пояса работают на внецентренное растяжение, верхнего пояса — на внецентренное сжатие (рис. 3,а), а стойки — на внецентренное сжатие или растяжение, в зависимости от места приложения нагрузки (в верхних или

нижних узлах). Расчетные сечения поясов располагаются по граням вутов (узлов), а опасными из них являются те, в которых создается неблагоприятное сочетание продольной силы  $N$  и изгибающего момента  $m$ .

По мере роста нагрузки трещины в нижнем поясе растут в длину и ширину и, в конце концов, пересекают сечения нижнего пояса по всей высоте, т.е. полностью выключают бетон из работы. Одновременно с развитием трещин происходит перераспределение местных (узловых) моментов с нижнего пояса на верхний — в нижнем они уменьшаются (со временем, до нуля), в верхнем растут. Разрушение происходит двояко: а) в слабо или нормально армированном сечении арматура нижнего пояса течет (в ней возникает пластическая связь, рис. 3,б), а прогибы балок безостановочно растут, б) в переармированном сечении разрушается бетон сжатого пояса, а напряжения в растянутой арматуре не достигают предела текучести (физического или условного). Следует заметить, что переармированные сечения в решетчатых балках допускались крайне редко — в основном, только для эксплуатации в условиях средне или сильно агрессивной газовой среды.

Анализ результатов многочисленных экспериментов привел к выводу о том, что на стадии разрушения пояса решетчатых балок работают в точности так же, как и нормальные сечения сплошных балок (рис. 3,в), причем отклонения опытных разрушающих нагрузок от теоретических, как правило, не превышают  $\pm 5\%$ .

Таким образом, нормальные сечения решетчатых балок можно рассчитывать как нормальные сечения сплошных балок, ослабленных отверстиями [5], т.е. с полным основанием пользоваться обычной методикой СНиП.

## Расчет нормальных сечений поясов.

Положение опасных нормальных сечений в решетчатых балках определяется так же, как и в сплошных:  $d(M_u, /M)/dx = 0$ , где  $M_u$  — несущая способность нормальных сечений,  $M$  — расчетный изгибающий (балочный) момент от



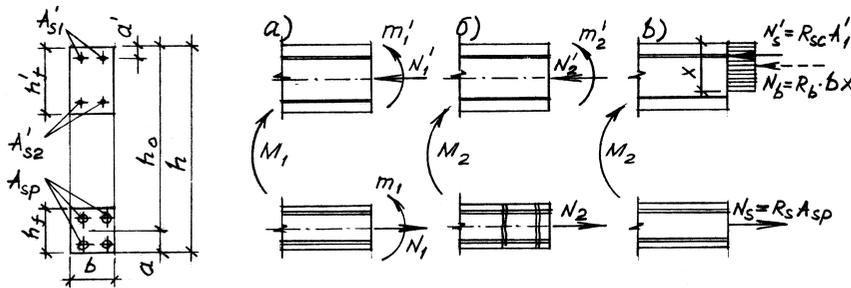


Рис. 3. Усилия в нормальном сечении балки с параллельными поясами на разных стадиях работы

внешней нагрузки,  $x$  — продольная координата. Поскольку в решетчатых балках расчетные сечения располагаются по концам панелей поясов (в местах их примыкания к узлам), задачу можно существенно упростить: достаточно найти сечение с минимальным отношением  $z/M$ , где  $z$  — расстояние между осями поясов [5]. Далее расчет выполняется в обычном порядке (рис. 3,в).

Высота сжатой зоны:

$$x = (R_s A_{sp} - R_{sc} A_{s1}') / R_b b.$$

Если  $x > h_f'$ , то принимают  $x = h_f'$ .

Прочность нормального сечения при изгибе (несущая способность):

$$M_u = R_b b x (h_0 - x/2) + R_{sc} A_{s1}' (h_0 - a')$$

Арматура  $A_{s2}'$  не учитывают, поскольку находится она вблизи нейтральной оси и ее влияние на прочность незначительно.

В двускатных, арочных балках и балках с ломаным нижним поясом необходимо учитывать уклоны (тангенсы углов наклона) поясов: верхнего  $i$  и нижнего  $j$ . Из условия равенства нулю проекций сил на горизонтальную ось (рис. 4):

$$N/\sqrt{1+i^2} = N_b/\sqrt{1+j^2} + N_s'/\sqrt{1+i^2},$$

где  $N_s = R_s A_{sp}$ ,  $N_b = R_b b x$ ,

$N_s' = R_{sc} A_{s1}'$ , откуда

$$x = (R_s A_{sp} / \sqrt{1+i^2} - R_{sc} A_{s1}' / \sqrt{1+i^2}) / (R_b b / \sqrt{1+j^2}).$$

Прочность сечения:

$$M_u = R_b b x (h_0 / \sqrt{1+j^2} - x/2) +$$

$$+ R_{sc} A_{s1}' (h_0 / \sqrt{1+i^2} - a').$$

Если по расчету окажется  $x < h_f'$ , то можно учесть работу напрягаемой арматуры выше условного предела текучести (см. СП-102-2004, п. 3.1.2.1.), что позволит увеличить расчетную несущую способность сечений.

**Расчет наклонных сечений поясов.**

Разрушение от действия поперечной силы обычно происходит в крайних панелях балок, при этом разгружающую роль играют уклоны поясов — верхнего  $i$  и нижнего  $j$  [6] (рис. 5,а):

$$Q_f = Q - N(i + j),$$

где  $Q$  — балочная поперечная сила,  $Q_f$  — поперечная сила, воспринимаемая непосредственно поясами. Горизонтальные проекции продольных сил в поясах  $N$  определяют исходя из балочного момента в среднем сечении отверстия:

$$N = M/z.$$

Результаты экспериментальных исследований показали, что вершина опасной наклонной трещины находится, как правило, в месте примыкания верхнего пояса к узлу (рис. 5,б). Сопротивление поперечной силе оказывает только бетон, поскольку поперечная арматура, размещенная в поясах, в работу включиться не в состоянии. Тогда условие прочности имеет вид:

$$Q_f \leq Q_b = \varphi_{b2} (1 + \varphi_n) R_{br} b (h_0 - h_d)^2 / c,$$

где

$$\varphi_n = 0,1 P / [R_{br} b (h_0 - h_d) \sqrt{1 + i^2}] \leq 0,5,$$

$h_d$  — высота отверстия,  $P$  — усилие предварительного обжатия.

Наиболее слабо сопротивляются поперечной силе балки с параллельными поясами, а также двускатные балки. Поэтому проверке прочности наклонных сечений поясов этих балок необходимо уделять самое серьезное внимание.

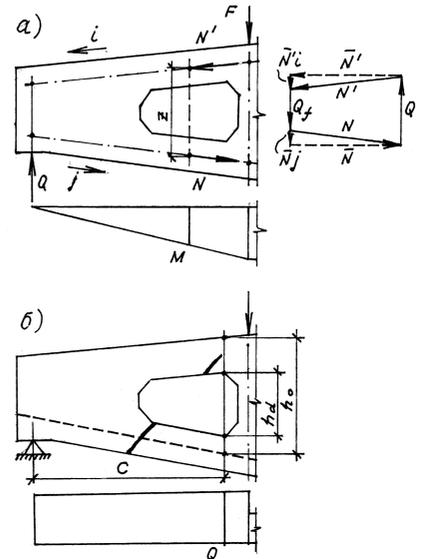


Рис. 5. К расчету прочности поясов на поперечную силу

**Расчет стоек.**

Стойки находятся под воздействием продольных  $N_c$ , поперечных (сдвигающих)  $Q_c$  сил и изгибающих моментов  $m_c$ . Продольные силы образуются под влиянием двух факторов: внешней сосредоточенной нагрузки  $F$  и суммы вертикальных составляющих продольных усилий в смежных панелях поясов  $N_k$  и  $N_{k+1}$  (в балках с параллельными поясами эти составляющие равны нулю).

Внешняя нагрузка, приложенная к верхнему узлу ( $F$ ), вызывает в стойке сжатие, к нижнему ( $F$ ) — растяжение. При их одновременном действии:

$$N_{c,F} = -F'l / (I + I') + F'l' / (I + I'),$$

где  $I'$  и  $I$  — приведенные моменты инерции сечений верхнего и нижнего поясов (от воздействия собственного веса можно допустить  $N_{c,F} = 0$ ).

Вертикальные составляющие продольных усилий в поясах вызывают в стойке усилие:

$$N_{c,N} = N_k' i_k - N_{k+1}' i_{k+1} - N_k i_k - N_{k+1} i_{k+1}'$$

где  $N_k'$ ,  $N_{k+1}'$ ,  $N_k$ ,  $N_{k+1}$  — продольные силы соответственно в верхних и нижних панелях поясов, которые определяют (с небольшой погрешностью) делением балочных изги-

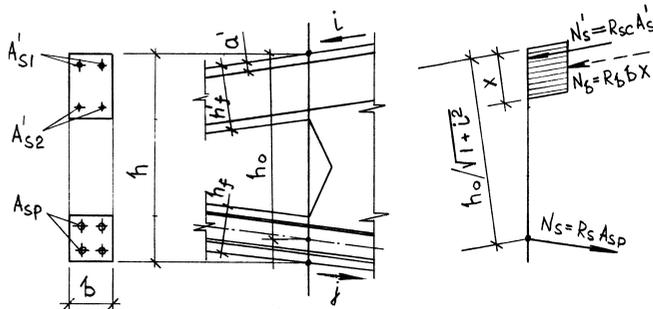


Рис. 4. Усилия в нормальном сечении балки с наклонными поясами



бающих моментов на расстояния между осями поясов в сечениях посредине отверстий;  $i_k, i_{k+1}, i_k, i_{k+1}$  — уклоны смежных панелей верхнего и нижнего поясов.

Суммарное продольное усилие в стойке:

$$N_c = N_{c,F} + N_{c,N}$$

Поперечные силы определяют по формуле:

$$Q_c = N_{k+1} - N_k$$

а при наклонном нижнем поясе

$$Q_c = N_{k+1} / \sqrt{1 + i_{k+1}^2} - N_k / \sqrt{1 + i_k^2}$$

Они приложены в точке  $O$ , расположенной на расстояниях от центров верхнего и нижнего узлов  $f'$  и  $f$ , пропорциональных жесткостям поясов (рис. 6,а):

$$f' = I' / (I + I'), \quad f = I / (I + I')$$

Положение расчетных сечений зависит от конструкции стоек. У прямоугольных стоек с вутами они расположены по граням вут (рис. 6,б), у Х-образных стоек — непосредственно по граням поясов (рис. 6,в). Здесь и определяют величины изгибающих моментов:

$$m'_c = Q_c d', \quad m_c = Q_c d$$

Определив продольные силы и изгибающие моменты, стойки

далее рассчитывают на внецентренное сжатие и растяжение как прямоугольное сечение с симметричным армированием.

Необходимо иметь в виду, что, в отличие от поясов, армирование стоек всегда определяется расчетом по трещиностойкости, с точки зрения прочности арматура в них установлена с запасом. Поэтому при проверке несущей способности стоек одного расчета их прочности может оказаться недостаточно.

### Расчет опорных участков.

Опорные участки двускатных решетчатых балок и решетчатых балок с параллельными поясами рассчитывают как опорные участки обычных сплошных балок. Опорные участки арочных балок, у которых оси крайних панелей поясов пересекаются вблизи оси опоры, можно также рассчитывать как опорные участки сплошных балок, но более точные результаты дает расчет их как опорных узлов ферм.

**В заключение** отметим, что изложенный порядок расчета в полной мере применим и к безраскосным фермам, которые отличаются от

решетчатых балок только тем, что имеют криволинейное очертание верхнего пояса и допускают межзловую нагрузку (плиты шириной 1,5 м при шаге стоек 3 м). Поэтому панели верхнего пояса ферм нужно дополнительно рассчитывать на местный изгиб, рассматривая стержни как арочки пролетом 3 м при двух схемах нагружения: наличии и отсутствии межзловых нагрузок.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

- В.В. Габрусенко, А.С.Мозяков, В.А.Якушин. Стропильные решётчатые балки с параллельными поясами.—Бетон и железобетон, 1982, №9.—С.29-30.
- В.В.Габрусенко, Л.Д.Гришанов, В.А.Якушин. Арочные решётчатые балки пролетом 18 м. — Бетон и железобетон, 1985, №12.— С.16-17.
- В.В.Габрусенко, Л.Д.Гришанов, Т.М.Чербаева. Эффективная конструкция решетчатых балок пролетом 12 м.—Передовой опыт в строительстве. Серия III / ПТИОМЭС Минстроя СССР, 1986, вып. 1. — С.6-8.
- В.В.Габрусенко, Б.Я.Мартыанов, Н.А.Мочалин. Совершенствование двускатных стропильных решётчатых балок. — Строительные конструкции и материалы/ Труды НИИПромстроя. Вып.22. — Уфа, 1977. — С.48-52.
- В.В.Габрусенко. Практические методы расчета прочности и конструирования поясов решетчатых балок. — Известия вузов. Строительство, 1993, №11-12. — С.5-7.
- В.В.Габрусенко. К расчету поясов решетчатых балок на попереч-

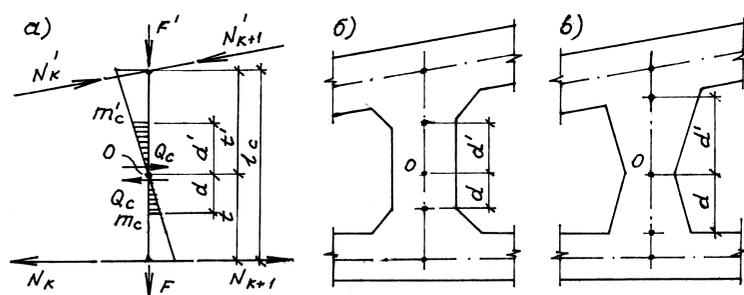


Рис. 6. К расчету прочности стоек

## В Минрегионе России

Письмо от 2 сентября 2005 г. № 4672-ВА/005

### “О ФУНКЦИЯХ МИНИСТЕРСТВА ПО ВЫРАБОТКЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКИ И НОРМАТИВНО-ПРАВОВОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ В ОБЛАСТИ ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ И СМЕТНОГО НОРМИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ”

В связи с поступающими запросами о функциях министерства по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области ценообразования и сметного нормирования в строительстве, сообщаем:

- основные функции министерства по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области ценообразования и сметного нормирования в строительстве включают:
- разработку методологии и основных принципов ценообразования и сметного нормирования в строительстве, в том числе внедрение и совершенствование новой сметно-нормативной базы;
- издание нормативных правовых актов и рекомендаций в установленной сфере деятельности, а также разъяснение положения указанных документов;
- разработку порядка рассмотрения территориальных и специализированных сборников по ценообразованию и сметному нормированию в строительстве, а также их регистрацию;

- организацию мониторинга и анализа ценообразующих факторов строительной продукции, утверждение индексов изменения стоимости строительно-монтажных, ремонтно-строительных, проектных и изыскательских работ, согласование индивидуальных сметных норм, расценок и индексов, используемых при определении сметной стоимости зданий и сооружений, строительство которых осуществляется за счет средств федерального бюджета;
- определение стоимости одного кв. метра жилья, используемой при расчете средств федерального бюджета, направляемых на приобретение жилья для удовлетворения государственных нужд;
- методическое руководство работой органов и служб по ценообразованию в строительстве субъектов Российской Федерации и координацию их деятельности.

Прошу довести указанную информацию до заинтересованных организаций и учреждений строительного комплекса.

В. А. АВЕРЧЕНКО, заместитель министра.