

Ордена Трудового Красного
Знамени

Центральный научно-исследо-
вательский и проектный институт
строительных металлоконструкций
ЦНИПРОЕКТСТАЛЬНОКОНСТРУКЦИЯ

Ордена Трудового Красного
Знамени

Московский инженерно-
строительный институт
им. В. В. Куйбышева

РУКОВОДСТВО
по проектированию стальных балок
с перфорированной стенкой

МОСКВА-1978

Госстрой СССР
Главпроектстройпроект
Совметаллостройинипроект
Ордена Трудового Красного
Знамени
Центральный научно-иссле-
довательский и проектный
институт строительных
металлоконструкций
ЦНИИПРОЕКТСТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института

 Н.П.Мельников

"20" XII - 1978 г.

Министерство высшего и сред-
него специального образования
СССР

Ордена Трудового Красного
Знамени Московский инженерно-
строительный институт
им. В.В.Куйбышева

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе

 Д.П. Горлов

"19" XII - 1978 г.

РУКОВОДСТВО

по проектированию стальных балок
с перфорированной стенкой

сканировал и обрабатывал
Лукин А.О.

МОСКВА-1978

УДК 624.072.2-472.2

Руководство развивает и дополняет СНиП II-B.3-72 и составлено с целью внедрения методов расчета балок с перфорированной стенкой с учетом развития пластических деформаций и методов оптимизации конструктивной формы. К перфорированным отнесены балки, получаемые путём роспуска стенки прокатного двутавра по зигзагсообразной линии и сварки по выступам стенки.

Первая редакция Руководства разработана на основе исследований, проведенных на кафедре металлических конструкций МИСИ им. В.В.Куйбышева совместно с отделом экспериментальных исследований ЦНИИпроектстальконструкции. Работа выполнена инженером А.И.Склядневым под руководством член-корреспондента АН СССР Н.П.Мельникова с учетом результатов исследований, проведенных другими авторами.

Все замечания и предложения направлять по адресу:
г. Москва, II7393, Н. Черемушки, кв. 28, корп. 2, отдел экспериментальных исследований.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Расчет прочности и деформативности балок с перфорированной стенкой	4
2. Конструирование балок с перфорированной стенкой.....	7
3. Примеры расчета и конструирования.....	18

1. РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ БАЛОК С ПЕРФОРИРОВАННОЙ СТЕНКОЙ

1.1. Руководство распространяется на симметричные разрезные балки с перфорированной стенкой, выполненные из горячекатаных двутавров с параллельными гранями полок (широкополочных двутавров) по ТУ 14-2-24-72, а также горячекатаных двутавров по ГОСТ 8239-56* из стали классов С38/23, С44/29, С46/33, работающие на статические нагрузки.

1.2. Балки могут быть загружены равномерно распределённой нагрузкой или сосредоточенными грузами, приложенными на сплошнотенчатых участках, при этом поперечные ребра жесткости ставятся под грузами лишь в том случае, когда их число в пролете менее трёх.

1.3. Прочность сечения балки с перфорированной стенкой при $\lambda \geq \lambda_1$ считается обеспеченной, если

$$M_{пред} = \frac{Q_1 \cdot M_2 \cdot m}{Q_1 + \frac{1}{\lambda} (M_2 - M_1)} \geq M; \quad (1)$$

при этом допускается развитие пластических деформаций по всей толщине полки на длине ослабленного сечения (λ), где

$$\lambda = \frac{M}{Q}; \quad (2)$$

M, Q — изгибающий момент и поперечная сила в рассматриваемом сечении;

$$\lambda_1 = \frac{M_1}{Q_1}; \quad (2a)$$

M_1, Q_1 — предельные изгибающий момент и поперечная сила при $\lambda = \lambda_1$;

$$M_1 = \left(H' - \frac{F_T}{B} \right) \left[t_2 \cdot B \cdot R - (h_T - t_2) \cdot t_1 \cdot \sqrt{R^2 - \frac{0,75 Q_1^2}{h_T^2 \cdot t_1^2}} \right]; \quad (3)$$

$$Q_1 = \frac{2 \cdot R (h_T^2 - t_2^2) \cdot t_1}{\sqrt{b^2 + 3 \frac{(h_T^2 - t_2^2)^2}{h_T^2}}}; \quad (4)$$

M_2 — предельный изгибающий момент при чистом изгибе;

$$M_2 = R \cdot F_T \cdot h; \quad (5)$$

R — расчетное сопротивление стали;

F_T — площадь таврового сечения;

h — расстояние между центрами тяжести тавров (рис. I);

H', h_T, b, B, t_2, t_1 — геометрические параметры балки (см. рис. I);

m — коэффициент условий работы, принимается по СНиП II-B.3-72, табл. 8.

1.4. Прочность сечения перфорированной балки при $\lambda \leq \lambda_1$ считается обеспеченной, если

$$Q_{пред} = Q_1 \cdot m \geq Q, \quad (6)$$

при этом допускается развитие пластических деформаций по всей высоте стенки таврового сечения.

1.5. В случае загрузки балки сосредоточенными силами расчетные изгибающий момент и поперечная сила определяются в сечениях под каждым грузом.

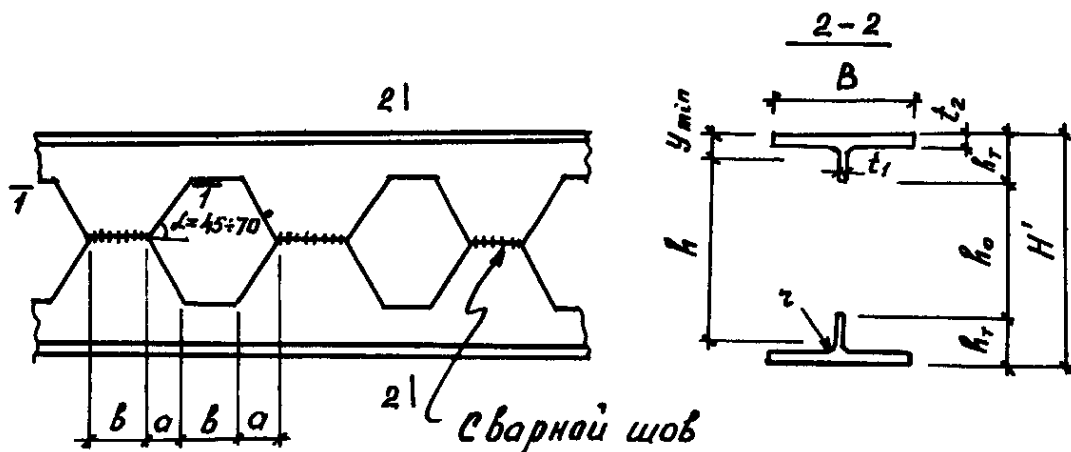


Рис. I. Обозначения геометрических параметров перфорированной балки

В случае загрузки равномерно распределенной нагрузкой прочность балок проверяется по формуле 6, а также в сечении, расположенном на расстоянии χ от опоры

$$\chi = \frac{l}{2} - \frac{M_2 - M_1}{Q_1}, \quad (7)$$

где l - пролет балки.

I.6. Проверка прочности стенки в сечении I-I (см. рис. I) осуществляется по формуле

$$\sigma = \frac{b \cdot Q_{max} \cdot (a+b) \cdot \frac{h_0}{h}}{(b+2a)^2 \cdot t_1} \leq m \cdot R, \quad (8)$$

где Q_{max} - максимальная по длине балки поперечная сила;
 h_0 - высота отверстия (см. рис. I).

I.7. Проверка прочности фибровых волокон сплошностенчатого сечения производится по формуле

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_{спл.}} \leq m R, \quad (9)$$

где M_{max} - максимальный изгибающий момент;
 $W_{спл.}$ - момент сопротивления сплошностенчатого сечения балки с перфорированной стенкой.

I.8. Прочность сварных швов считается обеспеченной, если выполняется условие

$$\tau = \frac{2 \cdot Q_{max} (a+b)}{t_1 (b-2) \cdot h} \leq m \cdot R_{св}^{ср}, \quad (10)$$

где a - проекция боковой грани отверстия на горизонталь, см (см. рис. I);

I.9. Общая устойчивость балок проверяется по СНиП II-B. 3-72, п. 4.17.

I.10. Расчет вертикальных прогибов балок с перфорированной стенкой от нормативной нагрузки производится с учетом влияния поперечных сил.

Прогиб в любом сечении определяется по формуле

$$f = 1,06 f_M \leq [f], \quad (11)$$

где 1,06 - коэффициент, учитывающий влияние поперечных сил;
 f_M - прогиб от изгибающего момента, определенный по моменту инерции ослабленного сечения

$$J_0 = \frac{F_T h^2}{2} + 2 \cdot J_T, \quad (12)$$

где J_T - момент инерции таврового сечения.

2. КОНСТРУИРОВАНИЕ БАЛОК С ПЕРФОРИРОВАННОЙ СТЕНКОЙ

2.1. При конструировании балок с перфорированной стенкой должны быть учтены конкретные условия эксплуатации и особенности технологии изготовления:

а) при равномерно распределенной нагрузке разрезка исходного профиля и последующая сборка может быть выполнена по любой из схем, представленных на рис. 2,3;

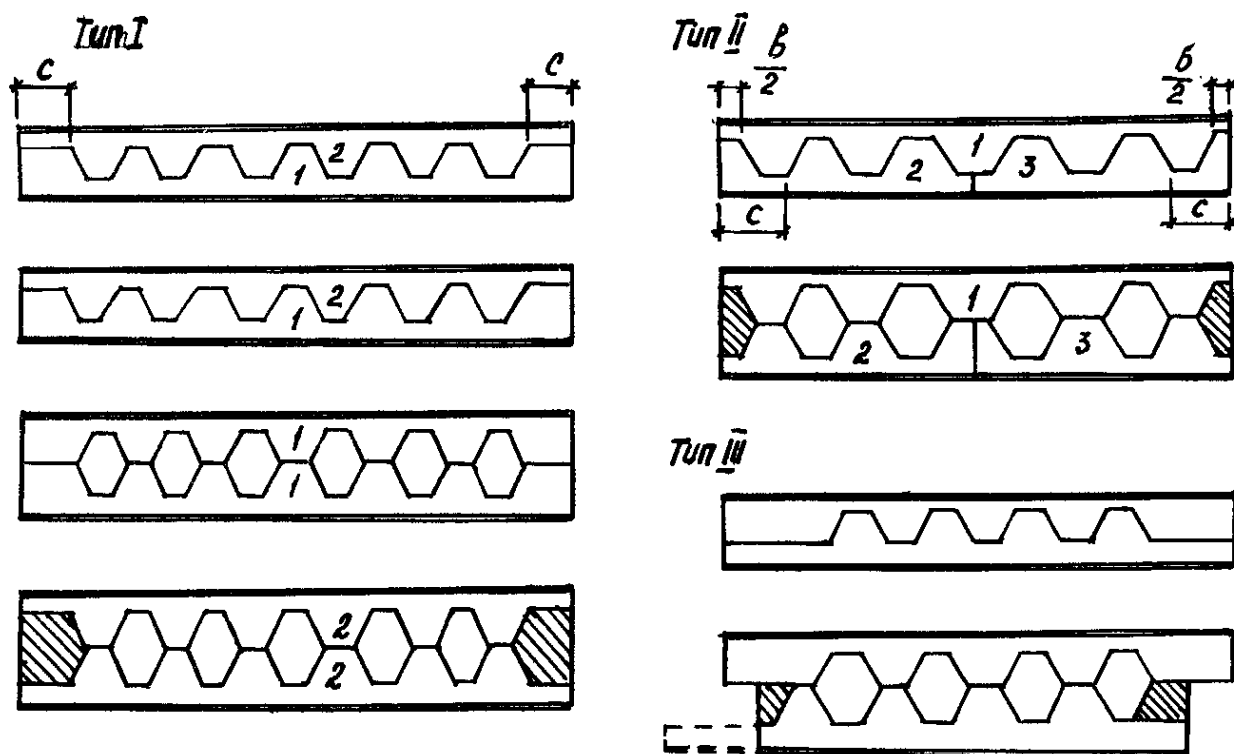


Рис. 2. Конструирование балок с перфорированной стенкой при симметричной линии разрезки двутавра.

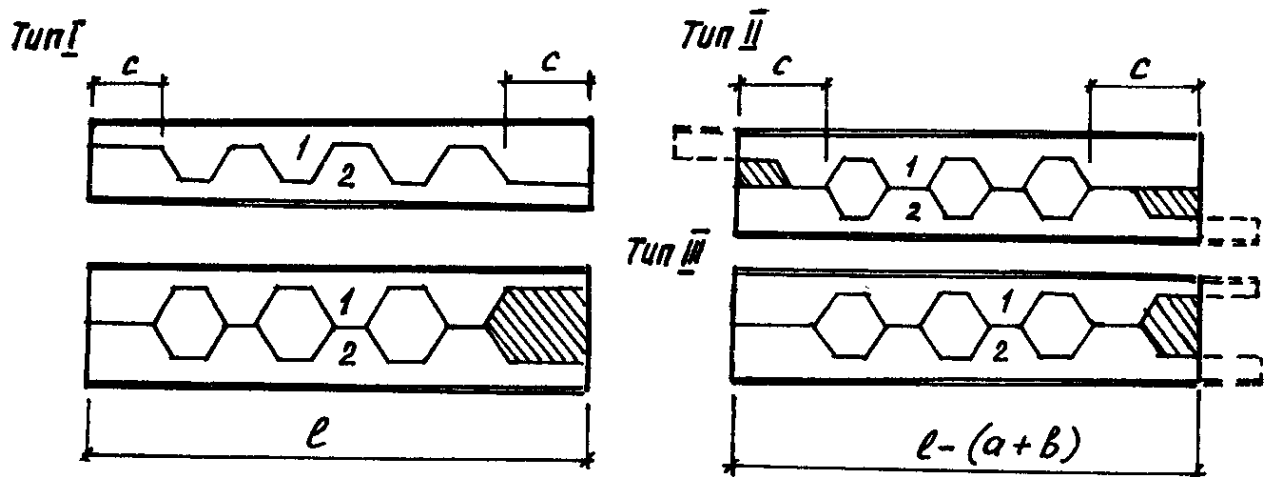


Рис. 3. Конструирование балок с перфорированной стенкой при несимметричной линии разрезки двутавра.

б) в случае загрузки балок сосредоточенными силами наиболее приемлемы разрезка и сборка согласно схемам, изображенным на рис. 2 тип II и тип III или на рис. 3 тип II и тип III.

2.2. При определении геометрических параметров отверстия (h_0 , b , a) следует руководствоваться следующими положениями:

а) максимальная высота отверстия (h_0) обусловлена условием прочности ослабленного сечения в зоне действия максимальной поперечной силы

$$h_0 < 2H - \frac{4Q_{max}}{R \cdot t_1} \sqrt{0,375 + 0,5 \sqrt{0,565 + \left(\frac{B \cdot R \cdot t_1}{Q_{max}} \right)^2}}, \quad (I3)$$

либо условием обеспечения местной устойчивости части стенки, расположенной между отверстиями

$$h_0 \leq 2 [70 \cdot t_1 + 2 (t_2 + z) \cdot H], \quad (I4)$$

где H – высота исходного профиля;

z – радиус внутреннего закругления (см. рис. I);

б) размер верхней (нижней) грани отверстия (b) должен приниматься минимальным по условиям прочности 8 и 10, но не менее 8 см;

в) проекция боковой грани отверстия на горизонталь (a) определяется углом наклона боковой грани (α), который рекомендуется принимать в диапазоне от 45 до 70° (см. рис. I), при этом должны выполняться следующие условия:

$$\alpha \leq \frac{t_1 (b-2) \cdot h \cdot R_{sp}^{cs} - 2 Q_{max} \cdot b}{2 Q_{max}}; \quad (I5)$$

$$a \geq \frac{y-b}{2} + \sqrt{\left(\frac{y-b}{2}\right)^2 - \frac{b^2}{4} + yb}, \quad (I6)$$

где $y = \frac{3 \cdot Q_{max} \cdot h_0}{2 R \cdot t_1 \cdot h}$.

Если условия I5 и I6 не выполняются, то увеличивается параметр b , в других случаях величину a рекомендуется принимать максимально возможной.

2.3. Участок стенки перфорированной балки над опорой должен быть укреплен ребром жесткости и рассчитан по СНиП II-V. 3-72 п. 6.9. Минимальная длина сплошностенчатого участка (размер С) над опорой определяется углом в 45° (рис. 4а и 4б).

Опорные узлы пониженной высоты могут быть выполнены с использованием дополнительных листовых элементов (рис. 4в) либо швеллеров (рис. 4г), при этом необходимо производить расчет прочности деталей опорного узла и сварных швов обычными способами в соответствии с действующими нормативами.

2.4. В целях упрощения подбора нужного профиля на рис. 5-12 представлены специальные графики для двутавров по ТУ I4-2-24-72, намечаемых к прокатке в 1978-1979 году, и по ГОСТ 8239-56*, выполненных из стали класса С38/23.

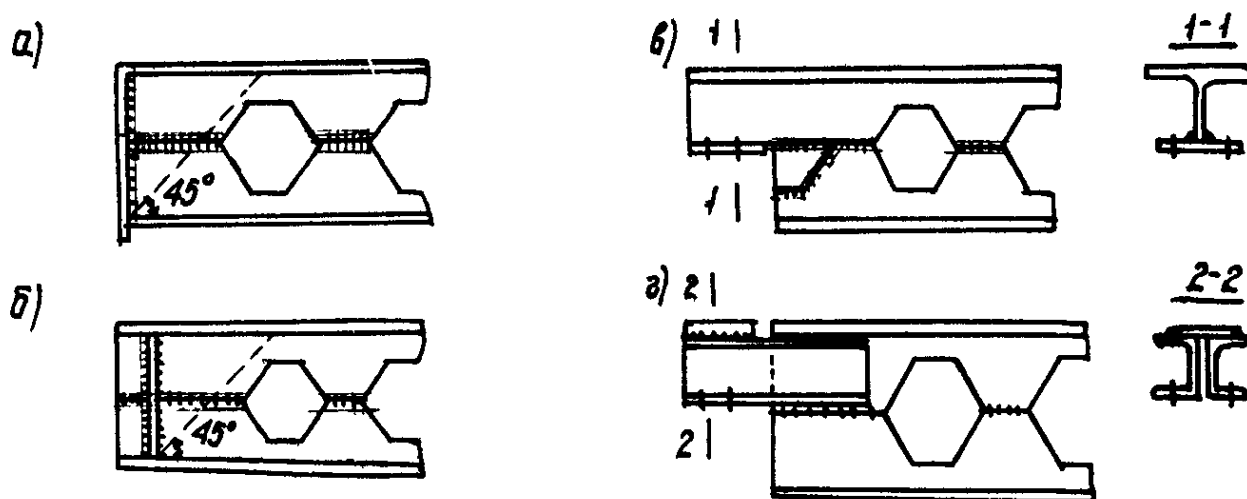


Рис. 4. Схемы возможных конструкций опорных узлов:

- а - с передачей опорных реакций через торцевое ребро жесткости;
- б - с передачей опорных реакций через плотно пригнанные к нижнему поясу ребра жесткости;
- в - с выступающей верхней частью балки;
- г - с приваркой швеллеров

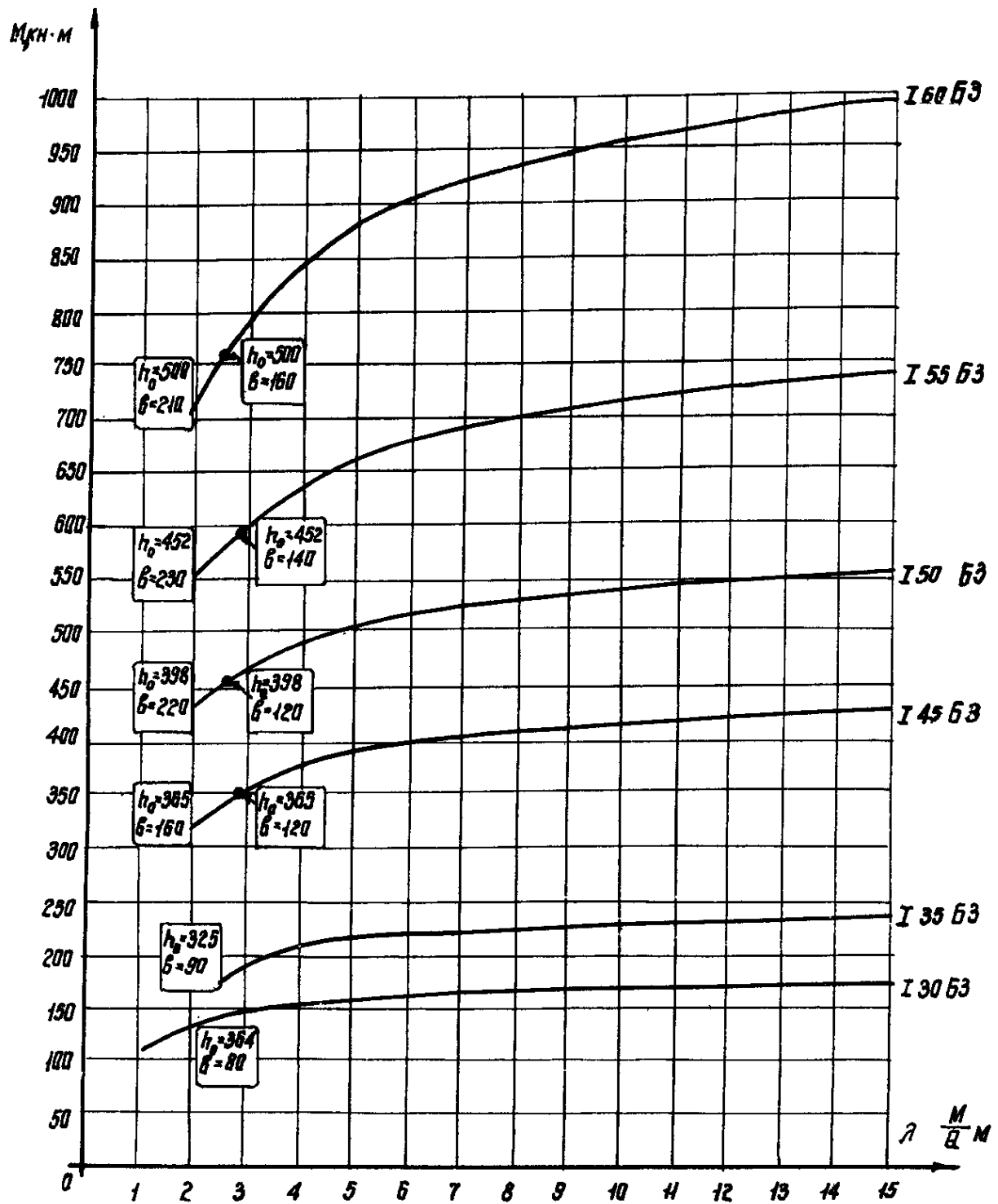


Рис. 5. Графики $M - \lambda$ для перфорированных балок из двутавров марки БЗ

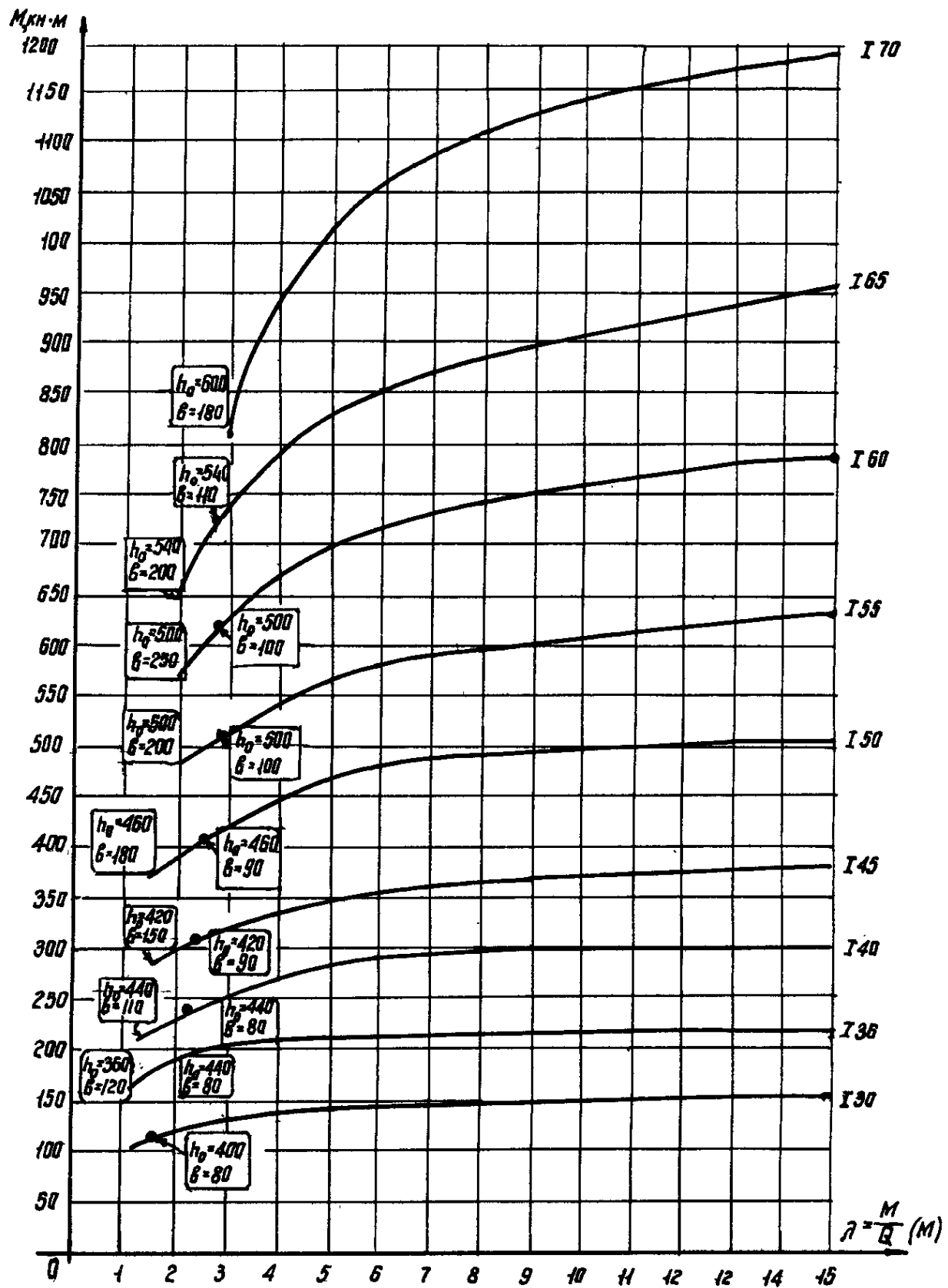


Рис. 6. Графики $M - \lambda$ для перфорированных балок из двутавров по ГОСТ 8239-56*

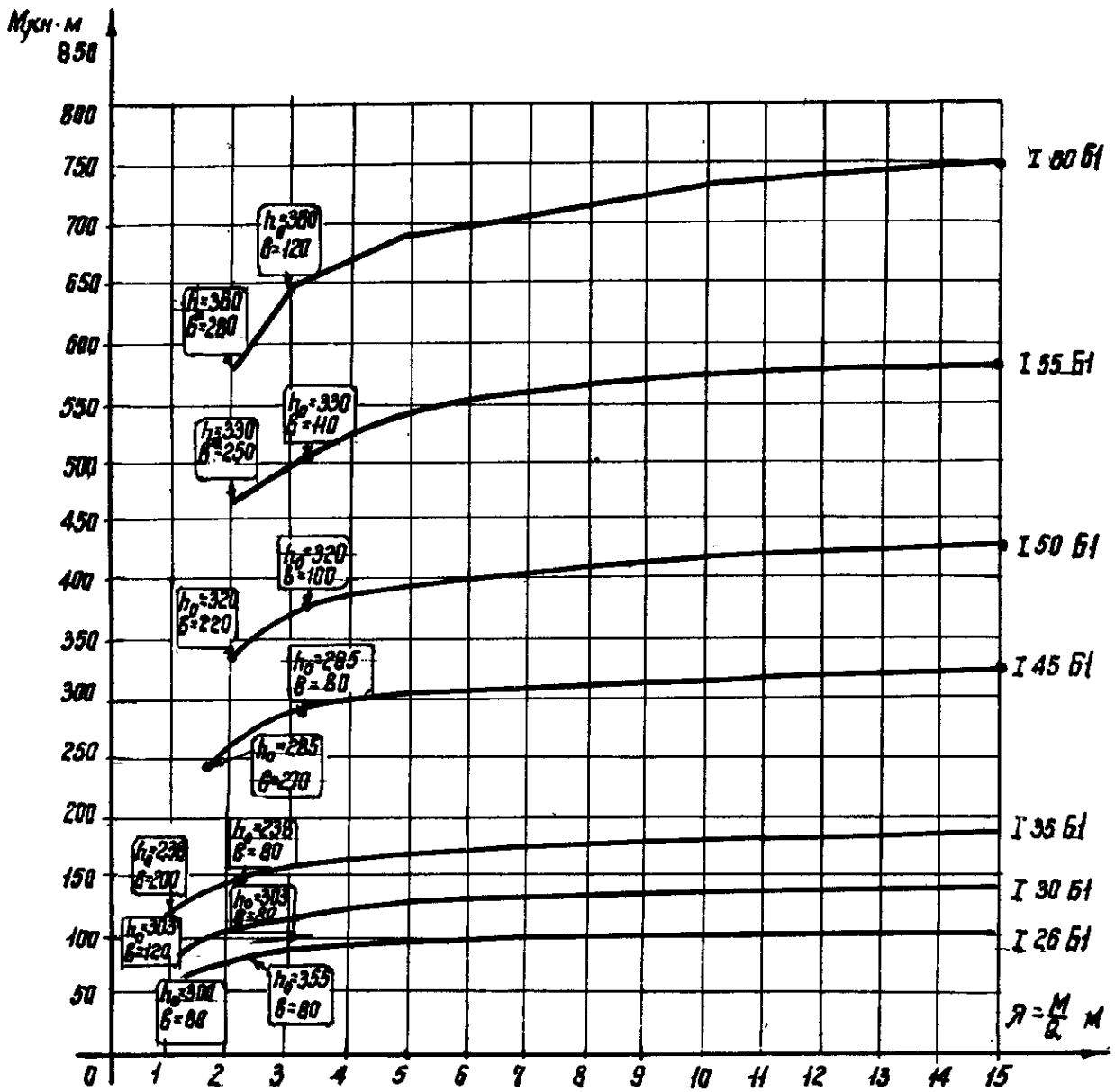


Рис. 7. Графики $M - \delta$ для перфорированных балок из двутавров марки БІ

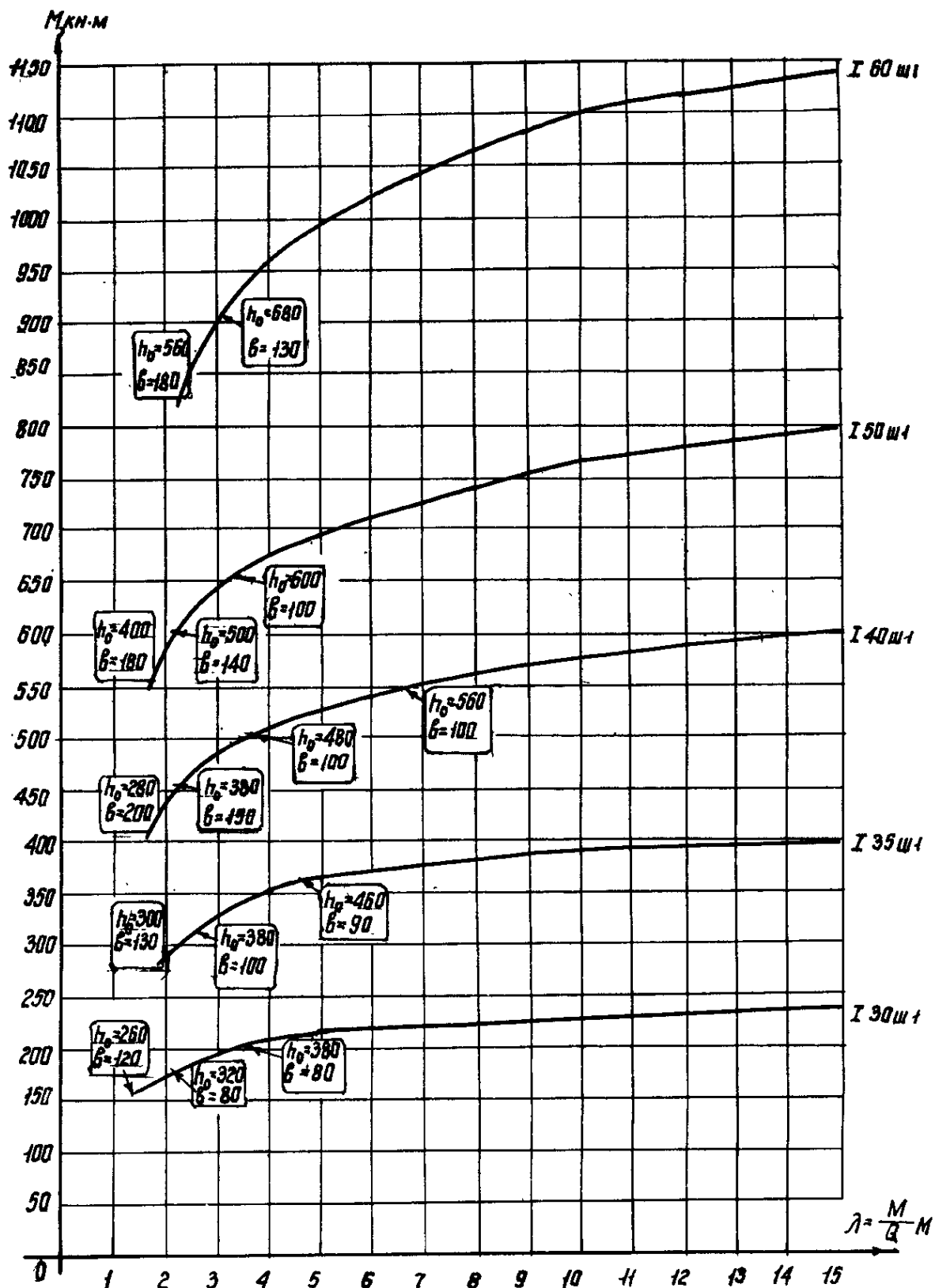


Рис. 8. Графики $M - \lambda$ для перфорированных балок из двутавров марки III

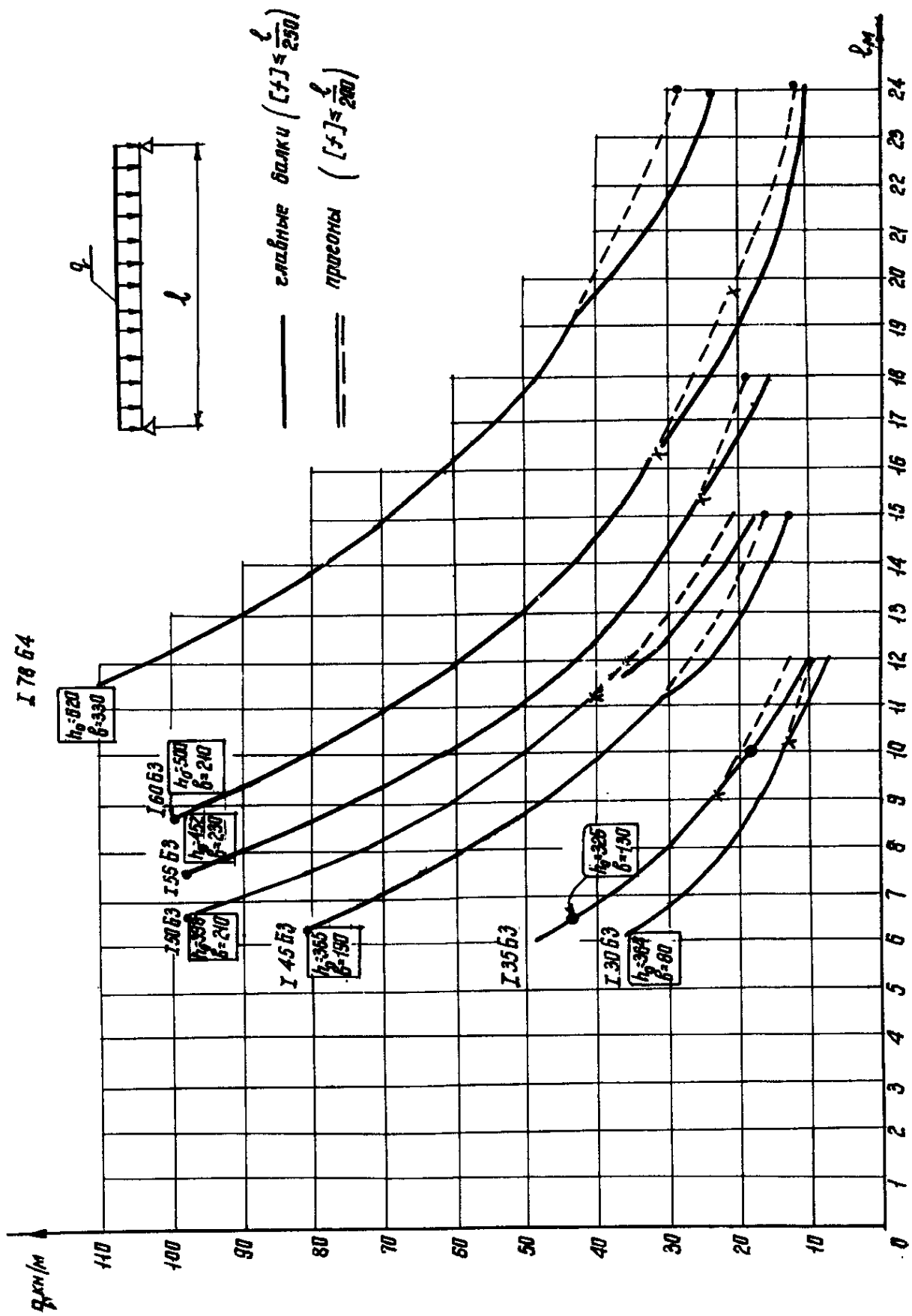


Рис. 9. График $q - l$. Несущая способность перфорированных балок из двутавров марки Б3 и Б4

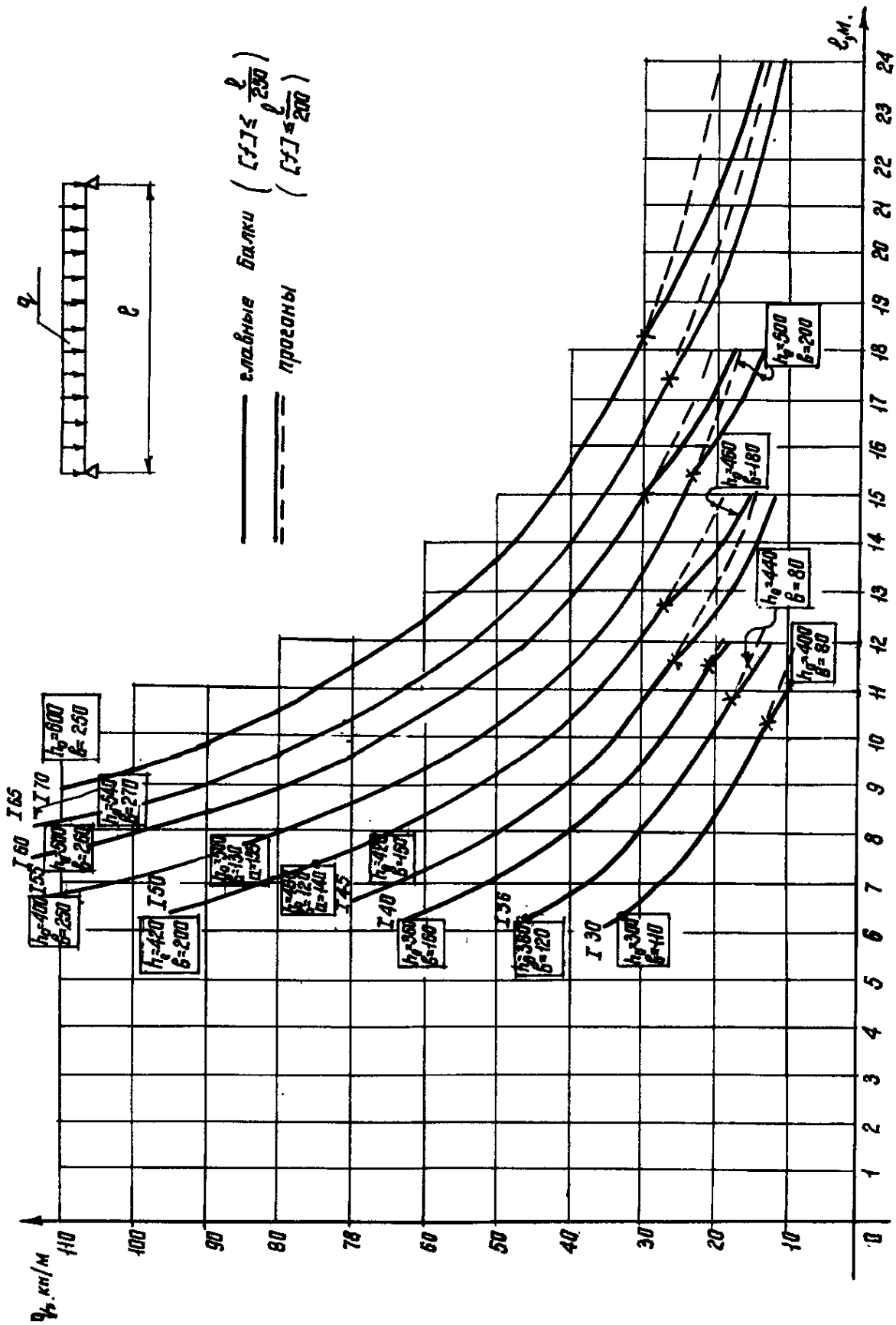


рис. 10. График $q - l$. Несущая способность перфорированных балок из двутавров по ГОСТ 8239-56

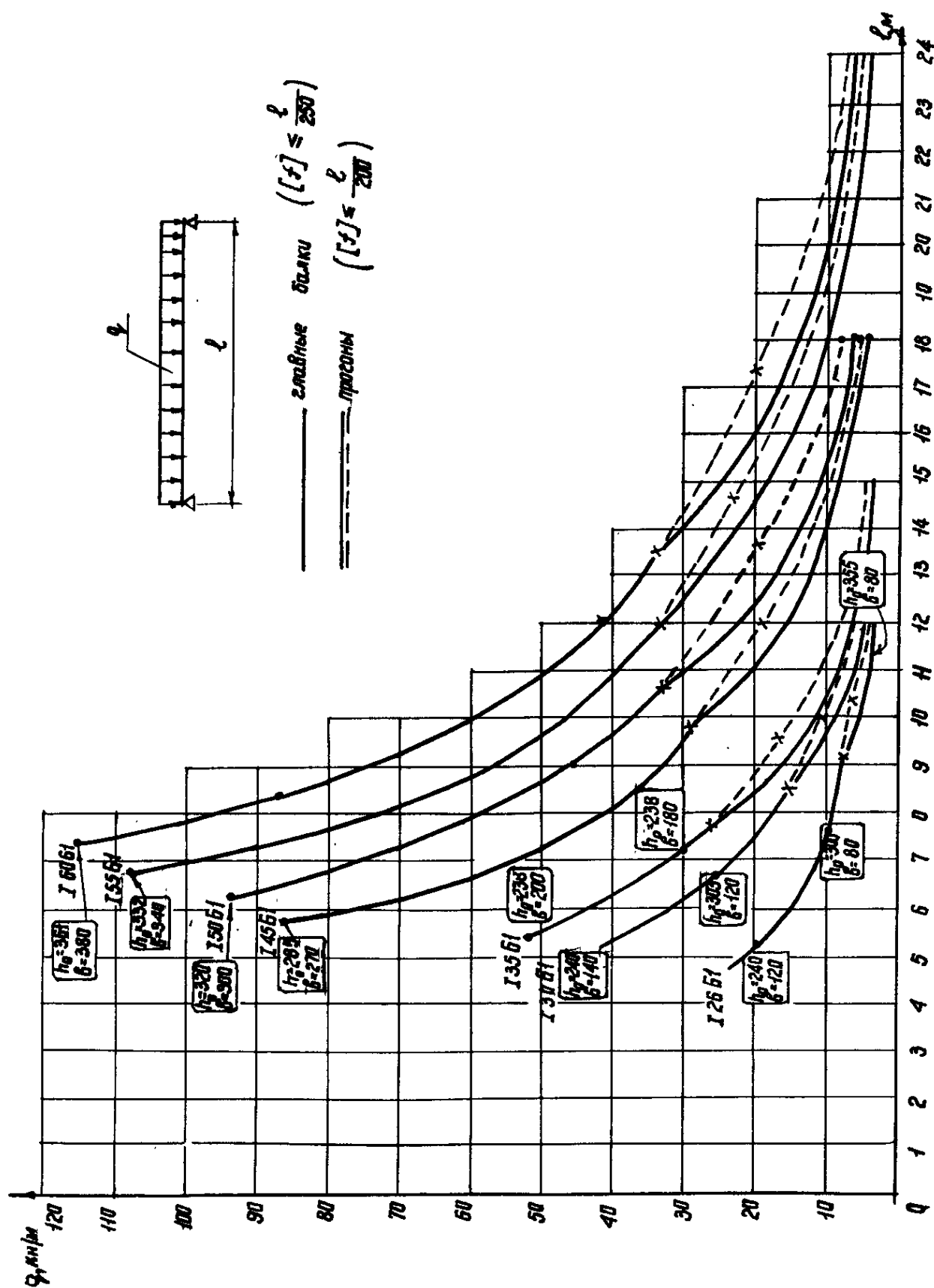


Рис. II. График $q-l$. Несущая способность перфорированных балок из двутавров марки Б1

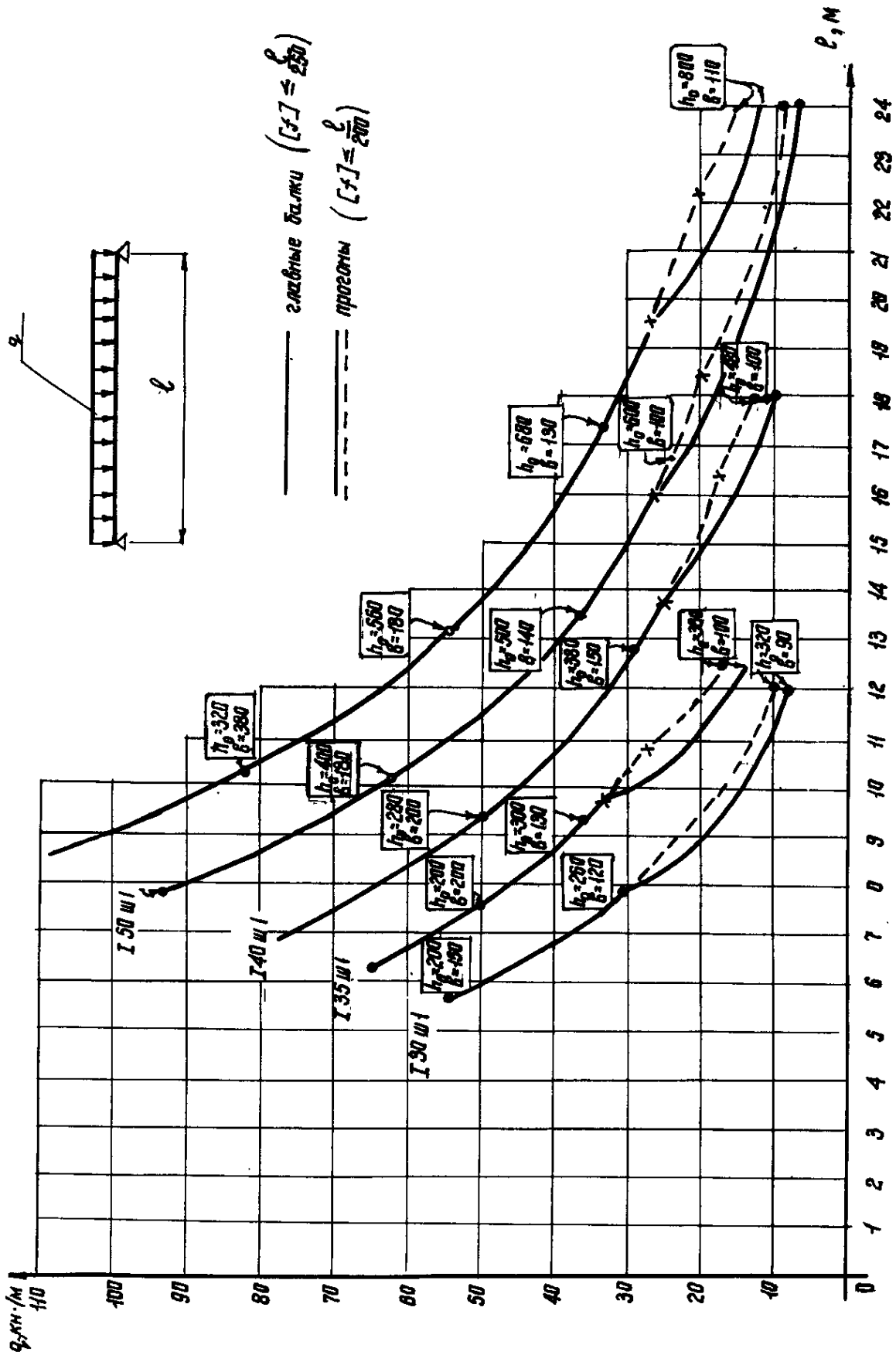


Рис. 12. График $q - l$. Несущая способность perforированных балок из двутавров марки III

3. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ

Пример I. Требуется подобрать сечение балки с перфорированной стенкой из двутавров марки III по ТУ I4-2-24-72 и стали класса С38/23 со следующими данными: пролет балки 12 м, нагрузка - три сосредоточенные силы по 95 кН (нормативная нагрузка - 86,5) с шагом 3 м, прогиб $\left[f \right] = \frac{l}{250} = \frac{1200}{250} = 4,8$ см, расчетное сопротивление стали - $R = 2100$ кг/см², расчетное сопротивление сварного шва - $R_{св}^{св} = 1300$ кг/см². Общая устойчивость обеспечена горизонтальными связями.

I. Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов от действия расчетных нагрузок представлены на рис. I3.

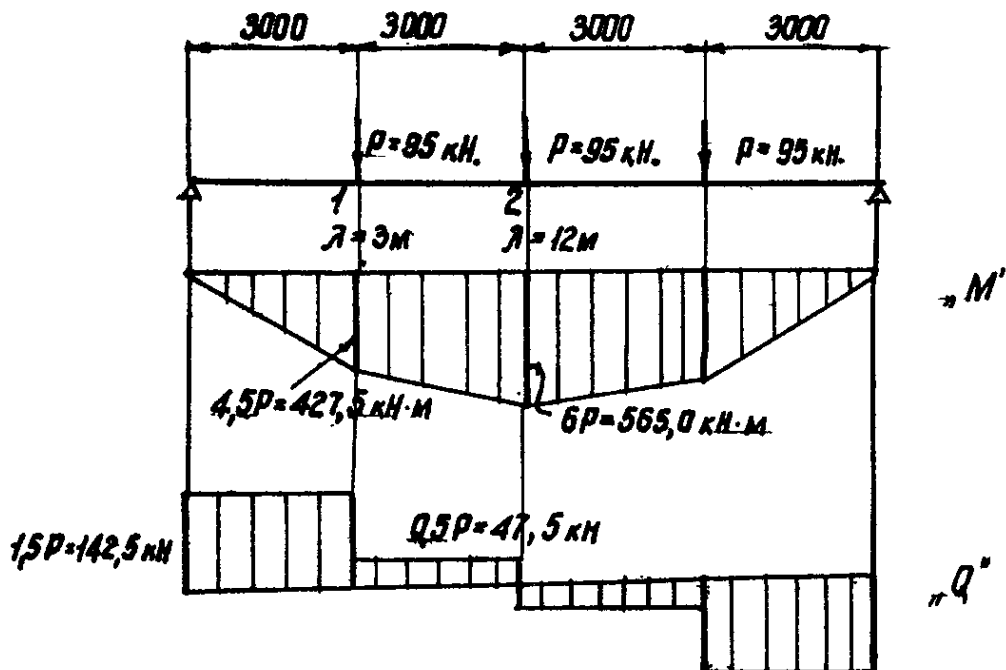


Рис. I3. Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов

2. По рис. 8 предварительно подбираем двутавр 40Ш. Так как геометрические размеры сечения, при которых удовлетворяются условия прочности различны, а именно:

при $\lambda = 3$ м (точка 1) - $h_0 = 380$ мм, $b = 150$ мм;

при $\lambda = 12$ м (точка 2) - $h_0 = 560$ мм, $b = 90$ мм,

то для сечения с максимальной поперечной силой уточняем высоту отверстия по формуле 13

$$h_0 = 2H - \frac{4Q_{\max}}{R \cdot t_1} \sqrt{0,375 + 0,5 \sqrt{0,565 + \left(\frac{b \cdot R \cdot t_1}{Q_{\max}} \right)^2}} =$$

$$= 2 \cdot 38,86 - \frac{4 \cdot 14250}{2100 \cdot 0,95} \sqrt{0,375 + 0,5 \sqrt{0,565 + \left(\frac{9 \cdot 2100 \cdot 0,95}{14250} \right)^2}} = 47,72 \text{ см}$$

Принимаем $h_0 = 47,0$ см.

3. Определяем λ_1 по формуле 2а

$$\lambda_1 = \frac{M_1}{Q_1} = \frac{501}{145} = 3,45 \text{ м,}$$

где

$$M_1 = \left(H' - \frac{F_r}{b} \right) \cdot \left[t_2 \cdot b \cdot R - (h_r - t_2) \cdot t_1 \sqrt{R^2 - \frac{0,75 Q_1}{h_r^2 \cdot t_1^2}} \right] = \left(62,36 - \frac{48,55}{30} \right) \times$$

$$\times \left[1,42 \cdot 30 \cdot 2100 - (7,68 - 1,42) \cdot 0,95 \sqrt{2100^2 - \frac{0,75 \cdot 14500^2}{7,68^2 \cdot 0,95^2}} \right] =$$

$$= 501000 \text{ кг} \cdot \text{см} = 501 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

$$Q_1 = \frac{2R(h_r^2 - t_2^2) \cdot t_1}{\sqrt{b^2 + 3 \frac{(h_r^2 - t_2^2)^2}{h_r^2}}} = \frac{2 \cdot 2100 \cdot (7,68^2 - 1,42^2) \cdot 0,95}{\sqrt{9^2 + 3 \frac{(7,68^2 - 1,42^2)^2}{7,68^2}}} = 14500 \text{ кг};$$

$$H' = h_0 + 2h_r = 47 + 2 \cdot 7,68 = 62,36 \text{ см};$$

$$F_r = b t_2 + (h_r - t_2) \cdot t_1 = 30 \cdot 1,42 + (7,68 - 1,42) \cdot 0,95 = 48,55 \text{ см}^2;$$

$$h_r = \frac{H}{2} - \frac{h_0}{4} = \frac{38,82}{2} - \frac{47}{4} = 7,68 \text{ см.}$$

4. В точке 1 $\lambda_1 > \lambda$ ($3,45 > 3$), следовательно прочность проверяется по формуле 6.

$$Q_{\text{пред}} = Q_1 \cdot m = 14500 \cdot 1 > Q = 14250 \text{ кг,}$$

где $m = 1$ - коэффициент условий работы.

Прочность обеспечена.

5. В точке 2 $\lambda_1 < \lambda$ ($3,45 < 12$), следовательно прочность проверяется по формуле I

$$M = \frac{Q_1 \cdot M_2 \cdot \pi}{Q_1 + \frac{M_2 - M_1}{\lambda}} = \frac{145 \cdot 622 \cdot 1}{145 + \frac{622 - 501}{12}} = 582 \text{ кН} \cdot \text{м} > 565 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

где

$$M_2 = R \cdot F_T \cdot h = 2100 \cdot 48,55 \cdot 60,2 = 615 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{см} = 615 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$h = H - 2y_{\min} = 62,36 - 2 \cdot 1,08 = 60,2 \text{ см};$$

$$y_{\min} = \frac{(B - t_1) \cdot t_2^2 + t_1 \cdot h_T^2}{2 F_T} = \frac{(30 - 0,95) \cdot 1,42^2 + 0,95 \cdot 7,68^2}{2 \cdot 48,55} = 1,08 \text{ см}.$$

Прочность обеспечена.

6. По формулам I5 и I6 определяем максимальное и минимальное значение a .

$$a \leq \frac{t_1 (B - 2) \cdot h \cdot R_{cp}^{cb} - 2 Q_{\max} \cdot b}{2 \cdot Q_{\max}} = \frac{0,95 (9 - 2) 60,2 \cdot 1300 - 2 \cdot 14250 \cdot 9}{2 \cdot 14250} = 9,75 \text{ см};$$

$$a \geq \frac{y - b}{2} + \sqrt{\left(\frac{y - b}{2}\right)^2 - \frac{b^2}{4} + yb} = \frac{8,2 - 9}{2} + \sqrt{\left(\frac{8,2 - 9}{2}\right)^2 - \frac{9^2}{4} + 8,2 \cdot 9} = 6,9 \text{ см},$$

где

$$y = \frac{3 \cdot Q_{\max} \cdot h_0}{2 \cdot R \cdot t_1 \cdot h} = \frac{3 \cdot 14250 \cdot 47}{2 \cdot 2100 \cdot 0,95 \cdot 60,2} = 8,2 \text{ см}.$$

Так как угол наклона не рекомендуется принимать более 70° (см. п. 2.2в), то

$$a \geq \frac{h_0}{2 \cdot \tan 70^\circ} = \frac{47}{5,5} = 8,5 \text{ см}.$$

Таким образом, $a = 8,5 + 9,75 \text{ см}.$

7. Проверка прочности фибровых волокон сплошностенчатого сечения производится по формуле 9

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_{\text{гнл}}} \frac{56,5 \cdot 10^5}{3020} = 1870 < R = 2100 \text{ кг/см}^2,$$

где

$$W_{\text{срл}} = \left(\frac{1,42 \cdot 30 \cdot 59,8^2}{2} + \frac{0,95 \cdot 58,4^3}{12} \cdot \frac{2}{61,2} \right) = 3020 \text{ см}^3.$$

Прочность обеспечена.

8. Проверка общей деформативности от нормативной нагрузки производится по формуле II

$$f = 1,06 f_M \leq [f].$$

Величину f_M определяем обычными способами (рис. 14)

$$\begin{aligned} f_M &= \frac{2 \cdot 300}{6 E \cdot J_0} (2 \cdot 150 \cdot 388 \cdot 10^4 + 2 \cdot 150 \cdot \\ &\quad \cdot 388 \cdot 10^4 + 2 \cdot 300 \cdot 515 \cdot 10^4 + \\ &\quad + 300 \cdot 388 \cdot 10^4 + 150 \cdot 515 \cdot 10^4) = \\ &= \frac{725 \cdot 10^9}{E \cdot J_0}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_0 &= \frac{F_T \cdot h^2}{2} \cdot 2 \cdot J_T = \\ &= \frac{48,55 \cdot 60,2^2}{2} + 2 \cdot 115,5 = \\ &= 91230 \text{ см}^4; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_T &= \frac{1}{3} [(30 - 0,95) \cdot 1,42^3 + 0,95 \cdot 7,68^3] = 1,08^2 \cdot 48,55 = \\ &= 115,5 \text{ см}^4; \end{aligned}$$

$$f_M = \frac{725 \cdot 10^9}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 91230} = 3,82 \text{ см};$$

$$f = 1,06 f_M = 1,06 \cdot 3,82 = 4,05 < [f] = 4,8 \text{ см.}$$

Необходимая жесткость балки с перфорированной стенкой обеспечена.

9. Конструирование балки с перфорированной стенкой осуществляется по типу III, представленному на рис. 3. Шаг отверстий может быть назначен в следующих пределах:

$$S = 2(a+b) = 2(8,5+9) + 2(9,75+9) = 35 + 37,5 \text{ см.}$$

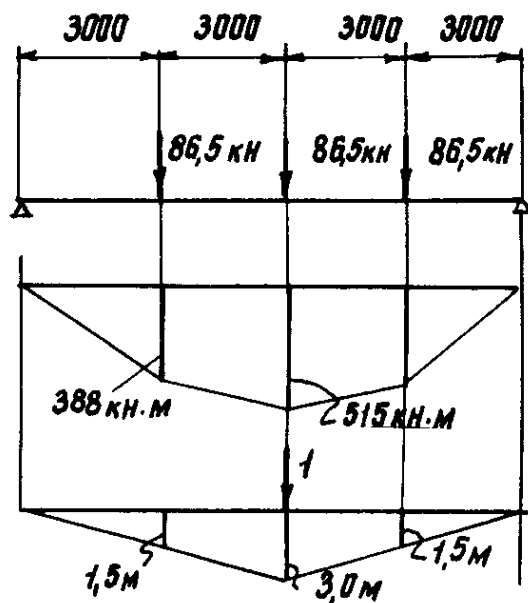


Рис. 14. Эпюры изгибающих моментов от расчетной и единичной нагрузок.

Учитывая, что в местах приложения сосредоточенных грузов сечение должно быть сплошностенчатым, а также принимая во внимание рекомендации п. 2.28 о том, что угол наклона боковой грани следует принимать минимально возможным, назначаем шаг отверстий равным 37,5 см. Схема разрезки двутавра 40Ш и балка с перфорированной стенкой, соответствующая заданным условиям загрузки, представлена на рис. 15.

Пример 2. Требуется подобрать сечение перфорированного прогона из двутавров марки Ш по ТУ 14-2-24-72 и стали класса С38/23 со следующими данными: пролет прогона 12 м, нагрузка равномерно распределенная ($q = 55 \text{ кН/м}$), допускаемый прогиб $[\delta] = \frac{l}{200} = 6,0 \text{ см}$, расчетное сопротивление

стали $R = 2900 \text{ кг/см}^2$, расчетное сопротивление сварного шва $R_{ср}^{св} = 1700 \text{ кг/см}^2$. Общая устойчивость балки обеспечена горизонтальными связями.

1. Для предварительного назначения сечения перфорированного прогона воспользуемся графиком $q - l$, представленным на рис. 12. Так как графики разработаны для стали класса С38/23, то ориентировочная несущая способность перфорированного

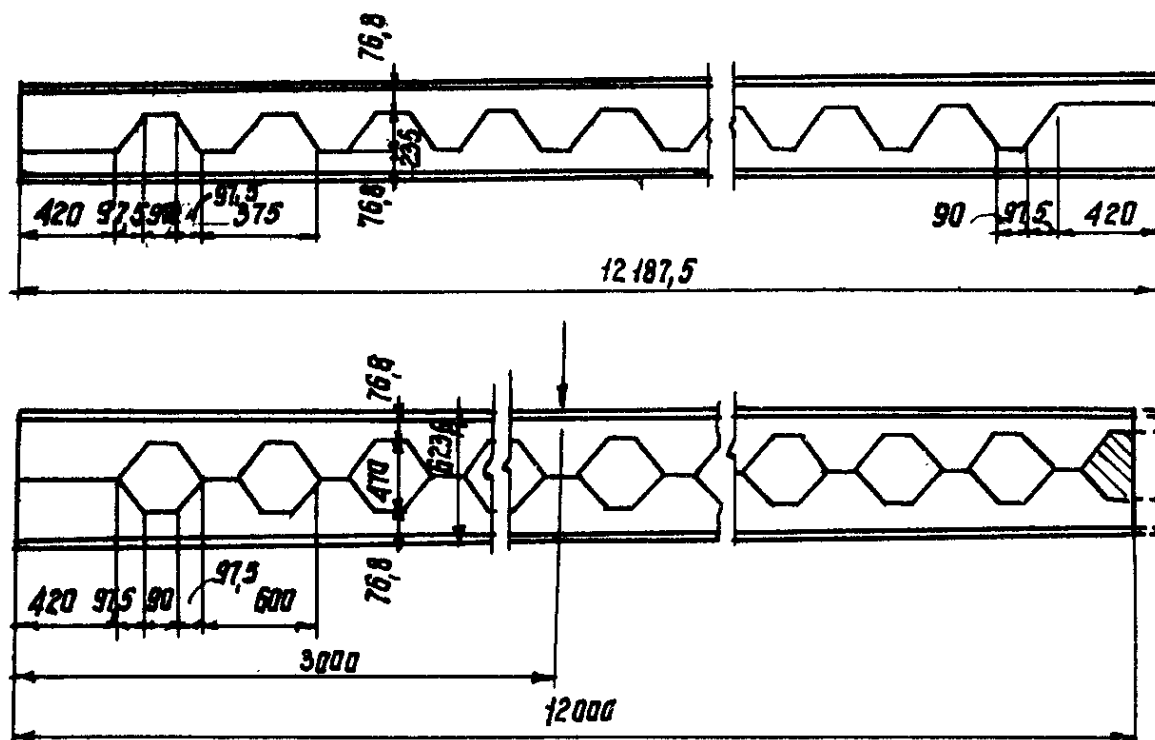


Рис. 15. Пример конструирования балки с перфорированной стенкой

прогона из двутавра 50III при пролете 12 м равна

$$q = 45 \cdot \frac{2900}{2100} = 62 \text{ кН/м},$$

что удовлетворяет заданному условию.

2. Высоту отверстия (h_0) определяем интерполированием:

$$h_0 = 50 - \frac{(50-40) \cdot (46-42)}{65-42} = 50 - \frac{10 \cdot 4}{23} = 48,2 \approx 48 \text{ см.}$$

Размер верхней (нижней) грани отверстия (b) принимаем равным 14,0 см.

3. Проверяем условие прочности 6.

$$Q_{пред} = Q_1 \cdot m = 361 \cdot 1 > Q = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{60 \cdot 12}{2} = 360 \text{ кН},$$

где m — коэффициент условий работы, равный 1;

$$Q_1 = \frac{2R(h_T^2 - t_2^2) \cdot t_1}{\sqrt{b^2 + 3 \frac{(h_T^2 - t_2^2)^2}{h_T^2}}} = \frac{2 \cdot 2900(12,21^2 - 1,5^2) \cdot 1,04}{\sqrt{14^2 + 3 \frac{(12,21^2 - 1,5^2)^2}{12,21^2}}} = 36100 \text{ кг} = 361 \text{ кН};$$

$$h_T = \frac{H}{2} - \frac{h_0}{4} = \frac{48,42}{2} - \frac{48}{4} = 12,21 \text{ см.}$$

Прочность обеспечена.

4. Определяем расстояние X по формуле 7 до сечения, для которого необходима проверка прочности в случае равномерно распределенной нагрузки

$$X = \frac{l}{2} - \frac{M_2 - M_1}{Q_1} = \frac{12}{2} - \frac{1107,5 - 525}{361} = 4,39 \text{ м},$$

где $M_2 = F_T \cdot h \cdot R = 56,1 \cdot 68,5 \cdot 2900 = 1107,5 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{см} = 1107,5 \text{ кН} \cdot \text{м}$

$$F_T = B t_2 + (h_T - t_2) \cdot t_1 = 30 \cdot 1,5 + (12,21 - 1,5) \cdot 1,04 = 56,1 \text{ см}^2;$$

$$h = H' - 2 y_{min} = 72,42 - 2 \cdot 1,96 = 68,5 \text{ см};$$

$$y_{min} = \frac{(B - t_1) \cdot t_2^2 + t_1 \cdot h_T^2}{2 F_T} = \frac{(30 - 1,04) \cdot 1,5^2 + 1,04 \cdot 12,21^2}{2 \cdot 56,1} = 1,96 \text{ см};$$

$$H' = h_0 + 2 \cdot h_T = 48 + 2 \cdot 12,21 = 72,42 \text{ см};$$

$$M_1 = \left(H' - \frac{F_T}{B} \right) \cdot \left[t_2 B \cdot R - (h_T - t_2) \cdot t_1 \cdot \sqrt{R^2 - \frac{0,75 \cdot Q_1^2}{h_T^2 \cdot t_1^2}} \right] = \left(72,42 - \frac{56,1}{30} \right) \times$$

$$\times \left[1,5 \cdot 30 \cdot 2900 - (12,21 - 1,5) \cdot 1,04 \cdot \sqrt{2900^2 - \frac{0,75 \cdot 38500^2}{12,21^2 \cdot 1,04^2}} \right] = 795 \cdot 10^4 \text{ кг·см} = 795 \text{ кН·м}.$$

5. Определяем величину λ , соответствующую сечению, расположенному на расстоянии x от опоры

$$\lambda = \frac{M}{Q} = \frac{910}{90} = 10,1 \text{ м},$$

где $M = \frac{q \ell}{2} \cdot x - \frac{q x^2}{2} = \frac{55 \cdot 12}{2} \cdot 4,39 - \frac{55 \cdot 4,39^2}{2} = 910 \text{ кН·м},$

$$Q = \frac{q \ell}{2} - q \cdot x = \frac{55 \cdot 12}{2} - 55 \cdot 4,39 = 90 \text{ кН}.$$

6. Определяем λ_1

$$\lambda_1 = \frac{M_1}{Q_1} = \frac{795}{361} = 2,22 \text{ м}.$$

7. Производим проверку прочности по формуле I, т.к. $\lambda > \lambda_1$

$$M_{\text{пред}} = \frac{Q_1 \cdot M_2 \cdot \pi}{Q_1 + \frac{M_2 - M_1}{\lambda}} = \frac{361 \cdot 1107,5 \cdot 1}{361 + \frac{1107,5 - 795}{10,1}} = 1020 \text{ кН·м} > M = 910 \text{ кН·м}$$

Прочность обеспечена.

8. По формуле I5 определим максимальное значение проекции боковой грани отверстия на горизонталь

$$\alpha = \frac{t_1 (\beta - 2) R \cdot R_{\text{св}}^{\text{св}} - 2 Q_{\text{max}} \cdot \beta}{2 Q_{\text{max}}} = \frac{1,04 (14 - 2) \cdot 68,5 \cdot 1700 - 2 \cdot 36000 \cdot 14}{2 \cdot 36000} = 18,8 \text{ см}.$$

9. По формуле I6 определим минимальное значение проекции боковой грани отверстия на горизонталь

$$a = \frac{y-b}{2} + \sqrt{\left(\frac{y-b}{2}\right)^2 - \frac{B^2}{4} + yb} = \frac{12,6-14}{2} + \sqrt{0,70^2 - \frac{14^2}{4} + 12,6 \cdot 14} = 10,8 \text{ см},$$

где

$$y = \frac{3Q_{\max} \cdot k_0}{2R \cdot t_1 \cdot h} = \frac{3 \cdot 36000 \cdot 48}{2 \cdot 2900 \cdot 1,04 \cdot 68,5} = 12,6 \text{ см}.$$

10. Проверка прочности фибровых волокон сплошностенчатого сечения производится по формуле 9

$$G = \frac{M_{\max}}{W_{\text{спл}}} = \frac{990 \cdot 10^4}{3900} = 2530 \text{ кг/см}^2 < R = 2900 \text{ кг/см}^2,$$

где

$$W_{\text{спл}} = \left(\frac{15 \cdot 30 \cdot 70,9^2}{2} + \frac{1,04 \cdot 68,4^3}{12} \right) \cdot \frac{2}{72,40} = 3900 \text{ см}^3;$$

$$M_{\max} = \frac{q \ell^2}{8} = \frac{55 \cdot 12^2}{8} = 990 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Прочность обеспечена.

II. Проверка общей деформативности производится по формуле II

$$f = 1,06 f_M \leq [f],$$

где f_M — прогиб от изгибающего момента — определяется обычными способами:

$$f_M = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_H \cdot \ell^4}{E \cdot J_0} = \frac{5 \cdot 5 \cdot 1200^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 132,4 \cdot 10^3} = 4,85 \text{ см};$$

$$q_H = \frac{5,5}{1,1} = 5,0 \text{ кг/см};$$

$$J_0 = \frac{F_T \cdot h^2}{2} + 2 \cdot J_T = \frac{56,1 \cdot 68,5^2}{2} + 2 \cdot 434 = 132830 \text{ см}^4;$$

$$J_T = \frac{1}{3} \left[(B - t_1) \cdot t_2^3 + t_1 \cdot h_T^3 \right] - y_{min}^2 \cdot F_T =$$

$$= \frac{1}{3} \left[(30 - 1,04) \cdot 1,5^3 + 1,04 \cdot 12,21^3 \right] - 1,96^2 \cdot 56,1 = 434 \text{ см}^4;$$

$$f_M = 1,06 \quad f_M = 1,06 \cdot 4,85 = 5,15 < [f] = 6 \text{ см.}$$

Жесткость прогона обеспечена.

12. Конструирование перфорированного прогона может быть осуществлено по любому типу, представленному на рис. 2 и 3 с учетом полученных варьируемых размеров -

$$h_0 = 48 \text{ см}, \quad b = 10 \text{ см}, \quad a = 10,8 + 18,8 \text{ см.}$$

Ответственный за выпуск А.И.Скляднев
Редактор Н.П.Цвелева
Технический редактор Л.А.Пыжова

Л - 62809. Подписано в печать 5/І-79 г. Объем І,75 п.л.
Тираж 300 экз. Формат 60х84/І6. Цена 20 коп. Зак.189

Отпечатано на ротапринте ОТРД ЦНИИАСС