

## **Характеристика и сравнительный анализ решетчатой и сплошностенчатой железобетонных балок**

Гутовец Р.В., Моджаро Е.Н.

(Научный руководитель – Даниленко И.В.)

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь

Наиболее важными задачами, поставленными перед капитальным строительством, в настоящее время являются экономное расходование материалов (металла, бетона и др.) и снижение себестоимости с одновременным повышением качества строительства. Данные задачи для железобетонных конструкций решаются путем более рационального сочетания бетона и стали.

Из всего вышесказанного следует актуальность цели работы: сравнение решетчатой и сплошностенчатой железобетонных балок и выявление наиболее оптимального конструктивного решения, учитывая работу конструкций под нагрузкой, расход бетона и арматуры, себестоимость и другие параметры.

### **Практический метод расчёта решётчатой балки**

Балка представляет собой стержневую статически неопределимую систему с жесткими узлами (рамы) и с жесткими дисками в опорных участках. 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.

По мере роста нагрузки трещины в нижнем поясе растут в высоту 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.

Анализ результатов многочисленных экспериментов привел к выводу о том, что на стадии разрушения пояса решетчатых балок работают так же, как и нормальные сечения сплошных балок.

Таким образом, нормальные сечения решетчатых балок можно рассчитывать как нормальные сечения сплошных балок, ослаблен-

ных отверстиями, т.е. с полным основанием пользоваться обычной методикой СНБ 5.03.01-02 «Бетонные и железобетонные конструкции».

### Определение нагрузок

Нагрузки, действующие на балку, представлены в виде постоянных и переменных. Постоянная нагрузка  $q = 35,805 \text{ кН/м}$  определяется весом ковра покрытия и системы покрытия. Ковер покрытия включает в себя кровлю, теплоизоляционный слой, а система покрытия состоит из железобетонных плит покрытия и непосредственно стропильной балки. Переменная нагрузка  $g = 14,19 \text{ кН/м}$  включает в себя вес снегового покрова.

При расчете балки по предельным состояниям первой группы составляем следующие сочетания нагрузок:

– первое основное сочетание:

$$p'_{1,Б} = 35,805 + 0,7 \cdot 14,19 = 45,738 \text{ кН/м}$$

– второе основное сочетание:

$$p'_{1,Б} = 0,85 \cdot 35,805 + 14,19 = 44,624 \text{ кН/м}$$

Для дальнейших расчетов балки принимаем наиболее неблагоприятное сочетание  $p'_{1,Б} = 45,738 \text{ кН/м}$ .

$$l_{eff} = L - 2 \cdot \left( \frac{260}{2} + \frac{40}{2} \right) = 18000 - 2 \cdot 150 = 17700 \text{ мм}$$

Определение усилий в сечении балки.

Расстояние от торца балки до опасного сечения – 6680 мм, следовательно, расстояние от левой крайней опоры до опасного сечения составляет 6550 мм.

Предварительный подбор напрягаемой арматуры.

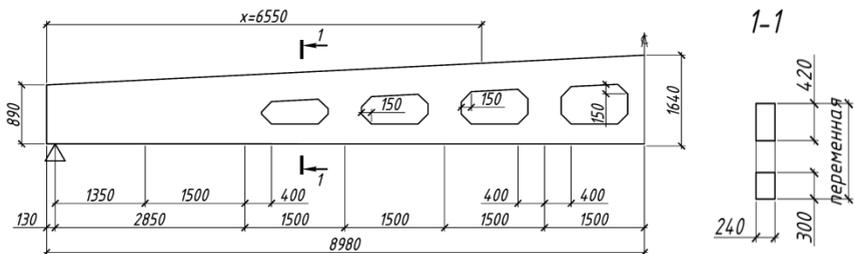


Рисунок 1. Геометрические размеры балки

$$b = 240 \text{ мм}$$

$$h_f = 300 \text{ мм}$$

$$h'_f = 420 \text{ мм}$$

Определим высоту балки в рассматриваемом сечении:

$$h = 0,89 + \frac{x + 0,13}{12} = 0,89 + \frac{6,55 + 0,13}{12} = 1,45 \text{ м}$$

$$c = 150 \text{ мм}$$

$$d = h - c = 1450 - 150 = 1300 \text{ мм}$$

Вычислим изгибающий момент, действующий в рассматриваемом сечении:

$$M_{sd} = 0,5 \cdot p_d \cdot x \cdot l_{eff} - x = 0,5 \cdot 45,738 \cdot 6,55 \times \\ \times 17,7 - 6,55 = 1670 \text{ кНм}$$

Назначение величины предварительного напряжения в напрягаемой арматуре:

$$\sigma_{0,\max} + p \leq k_p \cdot f_{pk};$$

$$\sigma_{0,\max} - p \leq 0,3 \cdot f_{pk};$$

Для канатной арматуры  $k_p = 0,8$

При механическом способе натяжения арматуры  $p = 0,05 \sigma_{0,\max}$

$$\sigma_{0,\max} \leq \frac{k_p \cdot f_{pk}}{1 + 0,05} = \frac{0,8 \cdot 1400}{1,05} = 1066,67 \text{ МПа}$$

Следовательно, принимаем  $\sigma_{0,\max} = 1050 \text{ МПа}$

Ориентировочно зададим суммарную величину потерь предварительного напряжения.

$$\Delta P_t(t) \approx (0,3 \dots 0,35) P_0$$

Тогда установившиеся напряжения в напрягаемой арматуре составят:

$$\sigma_{pm,t} \approx (0,65 \dots 0,7) \sigma_{0,\max}$$

$$\sigma_{pm,t} = 0,7 \cdot \sigma_{0,\max} = 0,7 \cdot 1050 = 735 \text{ МПа}$$

$$\xi_{\text{lim}} = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{s,\text{lim}}}{\sigma_{sc,u}} \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)};$$

$$\sigma_{sc,u} = 500 \text{ МПа};$$

$$\omega = k_c - 0,08 f_{cd} = 0,85 - 0,008 \cdot 20 = 0,69$$

$$\begin{aligned} \sigma_{s,\text{lim}} &= f_{pd} + 400 - \sigma_{pm,t} - \Delta \sigma_{pm,t} = 1120 + 400 - 735 \\ &= 785 \text{ МПа} \end{aligned}$$

$$\Delta \sigma_{pm,t} = 0, \text{ так как принята арматура класса S1400.}$$

$$\xi_{\text{lim}} = \frac{\omega}{1 + \frac{1}{500} \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)} = \frac{0,69}{1 + \frac{785}{500} \left(1 - \frac{0,69}{1,1}\right)} = 0,435$$

Вычислим значение коэффициента  $\gamma_{sn}$ , который учитывает упругопластическую работу высокопрочной арматуры

$$\gamma_{sn} = \eta - \eta - 1 \cdot \left(2 \frac{\xi}{\xi_{\text{lim}}} - 1\right) \leq \eta$$

где  $\eta = 1,15$  для арматуры S1400.

В решетчатых балках необходимо следить за тем, чтобы нейтральная ось не выходила из пределов верхнего пояса (не заходила в пределы отверстий), следовательно:

$$\xi = \frac{h'_f}{d} = \frac{185}{1236} = 0,1497$$

$$\gamma_{sn} = 1,15 - 1,15 - 1 \cdot \left(2 \frac{0,323}{0,435} - 1\right) = 1,077 \leq 1,15$$

Принимаем  $\gamma_{sn} = 1,077$ .

Расчет площади напрягаемой арматуры

Определяем положение нейтральной оси:

$$\alpha \cdot f_{cd} \cdot b'_f \cdot h'_f \cdot \left( d - \frac{h'_f}{2} \right) = 1,0 \cdot 20 \cdot 240 \cdot 420 \cdot \left( 1300 - \frac{420}{2} \right) = \\ = 2197,44 \cdot 10^6 \text{ Нмм}$$

Поскольку  $2197,44 \text{ кНм} > M_{sd} = 1484 \text{ кНм}$  сечение рассчитываем как прямоугольное с шириной  $b = 240 \text{ мм}$ .

$$\alpha_m = \frac{M_{sd}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = \frac{1670 \cdot 10^6}{1,0 \cdot 20 \cdot 240 \cdot 1300^2} = 0,206$$

Относительная высота сжатой зоны

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,206} = 0,233$$

Вычислим требуемую площадь напрягаемой арматуры

$$A_p = \frac{M_{sd}}{\gamma_{sn} \cdot f_{pd} \cdot d \cdot 1 - 0,5\xi} = \\ = \frac{1670 \cdot 10^6}{1,077 \cdot 1120 \cdot 1300 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,233} = 1205 \text{ мм}^2$$

Принимаем 9 канатов, тогда общая площадь напрягаемой арматуры  $A_p = 9 \cdot 141,6 = 1274,4 \text{ мм}^2$  Площадь поперечного сечения одного каната  $\varnothing 15$  класса S1400 по ГОСТ 13840 составляет  $141,6 \text{ мм}^2$ .

### Анализ

Двускатные решетчатые балки нашли широкое применение в конструкциях одноэтажных промышленных зданий, общественных зданий, а также одноэтажных подсобных помещениях. Они используются в качестве несущих элементов покрытия, т.е. являются стропильными конструкциями кровли. Балка состоит из верхнего и нижнего пояса, и стоек, т.е. конструкция решетчатой балки. сродни ферме. нижний пояс является предварительно напряженным, что исключает появление чрезмерных прогибов.

Сплошные балки имеют, как правило, двутавровое сечение.

Между сплошностенчатыми и решетчатыми балочными конструкциями существует коренная разница в отношении распределения внутренних напряжений, возникающих под действием нагрузки.

Сплошностенчатые балочные системы работают на изгиб, т.е. в поперечных сечениях возникают нормальные и касательные напряжения, вызванные изгибающим моментом и поперечной силой.

Главный недостаток изгибаемого бруса сравнительно с растянутым или сжатым (равномерно) заключается в том, что напряжения волокон в изгибаемом брусе распределяются весьма неравномерно по его поперечному сечению: нормальные напряжения равны нулю в нейтральном слое, а в крайних волокнах имеют максимальную величину. Касательные напряжения наоборот.

В балочной конструкции со сплошной стенкой затрачивается много материала, который напряжен значительно ниже расчетного сопротивления.

В решетчатых балочных системах элементы испытывают напряжения двух видов: основные и дополнительные. Основные напряжения возникают от сжатия или растяжения элемента продольной силой, и имеют для всего сечения одинаковую величину. Дополнительные напряжения возникают в результате изгиба элементов вследствие жесткости узлов, внецентренного действия продольной силы и местного изгиба элемента при внеузловой нагрузке. Напряжения в сечениях решетчатых элементов имеют величину, близкую к расчетным сопротивлениям материала.

Трудоемкость изготовления решетчатых конструкций выше, чем сплошностенчатых.

## ЛИТЕРАТУРА

1. СНБ 5.03.01-02. Бетонные и железобетонные конструкции. – Минстройархитектуры. – Мн.:Стройтехнорм, 2002 г. – 274 с.
2. Серия 1.462.1-3/80. Бетонные стропильные решетчатые балки для покрытий одноэтажных зданий.
3. Байков, В.Н. Железобетонные конструкции. Общий курс / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – М.:Стройиздат, 1991. – 768 с.

4. Дрозд Я.И. Предварительно напряженные железобетонные конструкции / Г.П. Пастушков. – Минск: Высшая школа, 1984. – 208с.
5. Голышев, А.Б. Железобетонные конструкции: в 2т. / А.Б. Голышев. Киев: Логос, 2001-2003. – Т. 1: Сопротивление железобетона. 2001. – 420 с.