

## Лекция 3

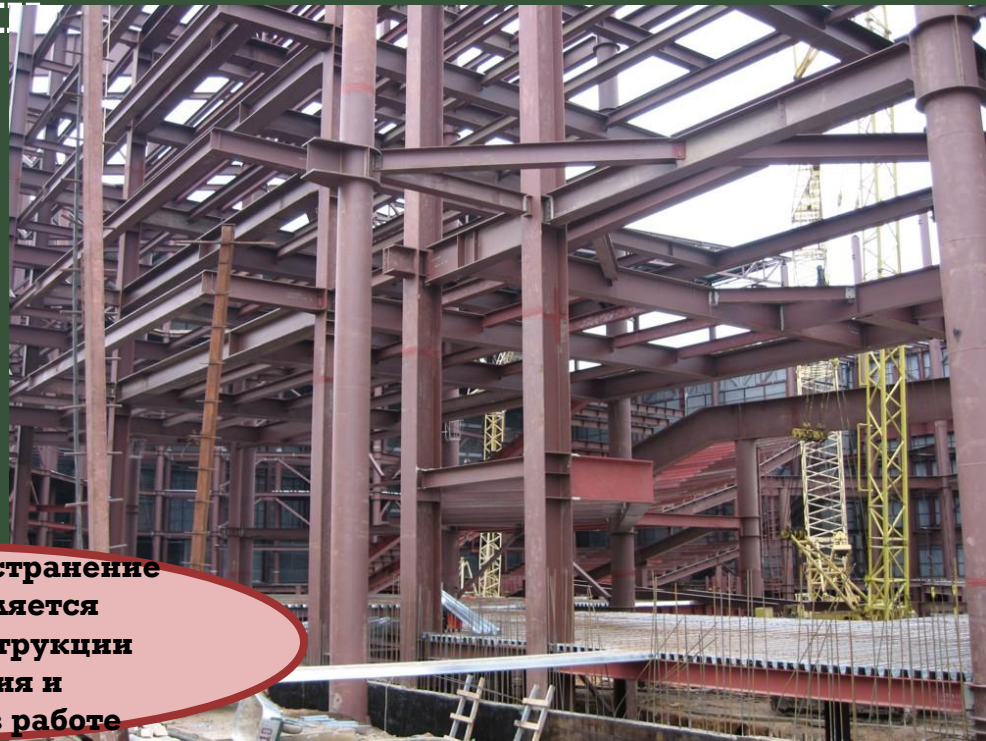
# Тема лекции - Балки, балочные конструкции

### План лекции:

- компоновка балочных перекрытий;
- виды настилов, особенности работы и расчет;
- подбор и проверка сечений прокатных балок;
- проектирование составных балок

# перекрытий

**Балки** являются основным и простейшим конструктивным элементом, работающим на изгиб. Их широко применяют в конструкциях гражданских и промышленных зданий, в балочных площадках, междуэтажных перекрытиях, мостах, эстакадах, в виде подкрановых балок, производственных зданий и других сооружениях.



**Широкое распространение балок определяется простотой конструкции изготовления и надежностью в работе**

**В конструкциях многоэтажных  
промышленных и  
гражданских зданий  
применяются балки небольших  
пролетов **6 – 18 м****

**В автодорожных и  
городских мостах пролеты  
сплошных балок  
достигают **200 м**  
и более**

**Реже – в  
промышленных  
одноэтажных зданиях в  
качестве несущих балок  
покрытий с пролетами  
**18 – 24 м****

**Известны примеры  
применения сплошных  
подкрановых балок пролетом  
**36 м**  
Такие балки часто бывают  
двустенчатыми, то есть  
имеют коробчатое сечение  
**II.****

**У металлических балок  
основным типом является  
двутавровое симметричное  
сечение**

Мерой эффективности (выгодности) сечения конструкции, работающей на изгиб является

*ядровое расстояние*

равное отношению момента сопротивления сечения

к его площади

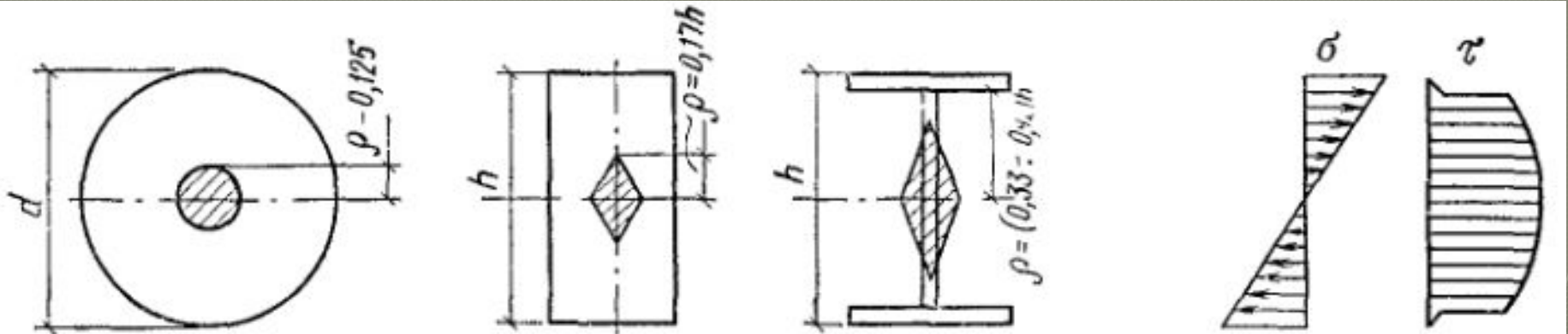
$$\rho = W/A,$$

чем оно больше, тем выгоднее сечение.

Так у круглого сечения  $\rho = 0,125d$ ;

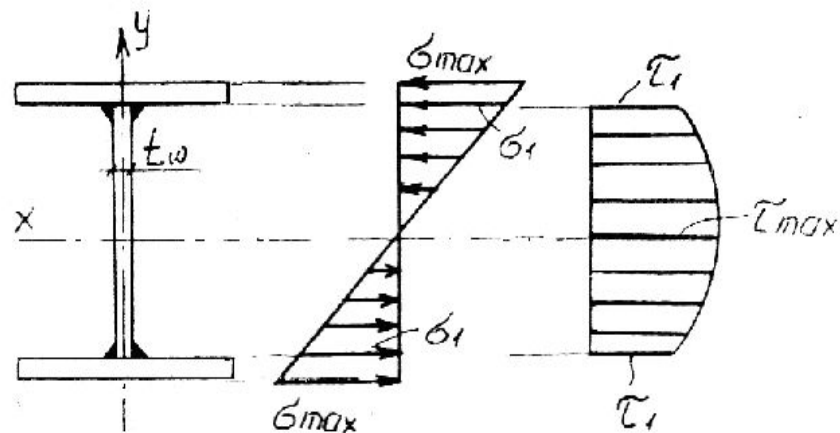
у прямоугольного  $\rho = 0.17h$ ;

*у двутаврового  $\rho = (0.33...0.42)h$*



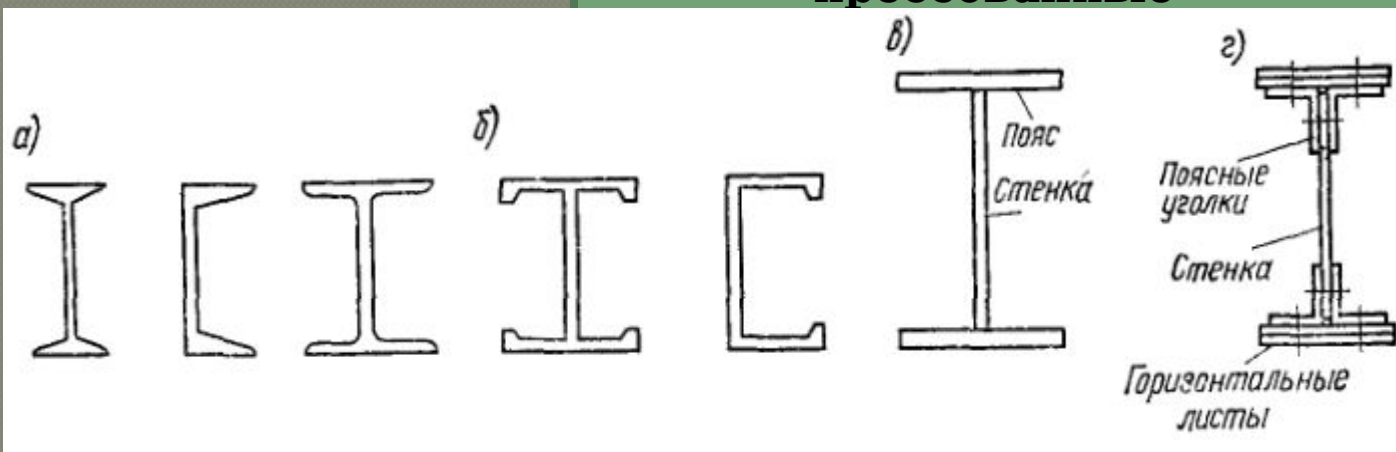
Сравнение показывает, что двутавровое сечение в **2 раза** выгоднее прямоугольного и в **3 раза** – круглого.

В двутавровом сечении распределение материала лучше всего соответствует распределению нормальных напряжений от изгиба. Хорошая работа на касательные напряжения позволяет делать стенку балки достаточно тонкой



В зависимости от нагрузки и пролета применяют балки двутаврового и швеллерного сечения. В строительстве нашли применение тонкостенные балки, балки из гнутых профилей, прессованные

а – прокатные  
б – прессованные  
в – сварные  
г – клепаные и болтовые



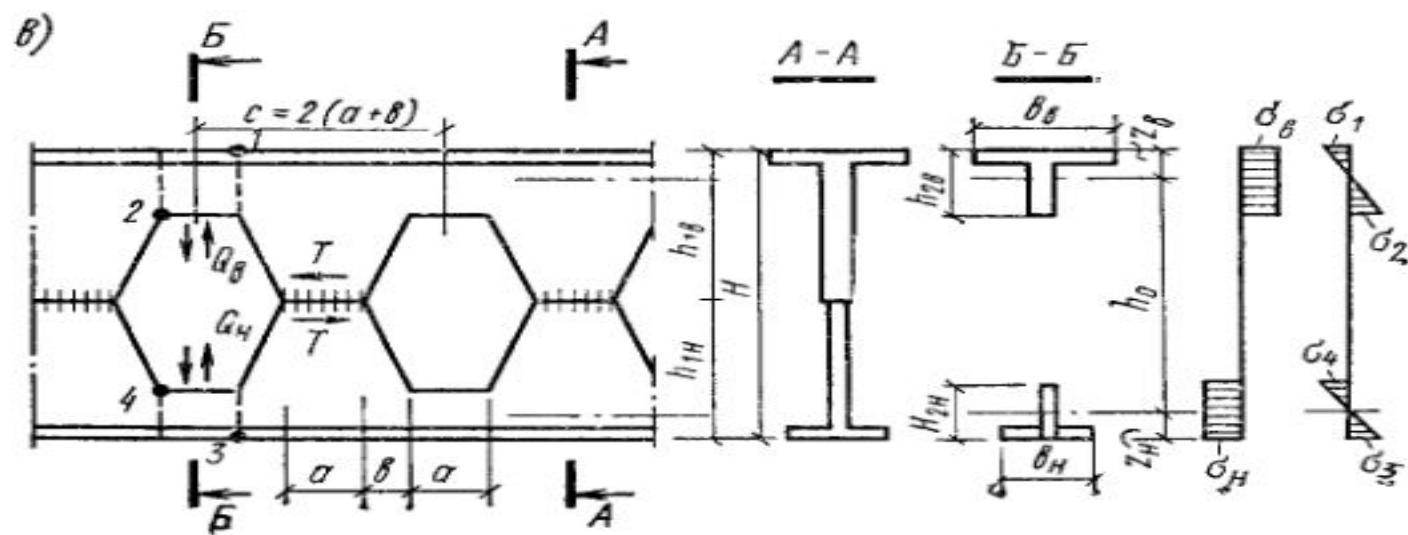
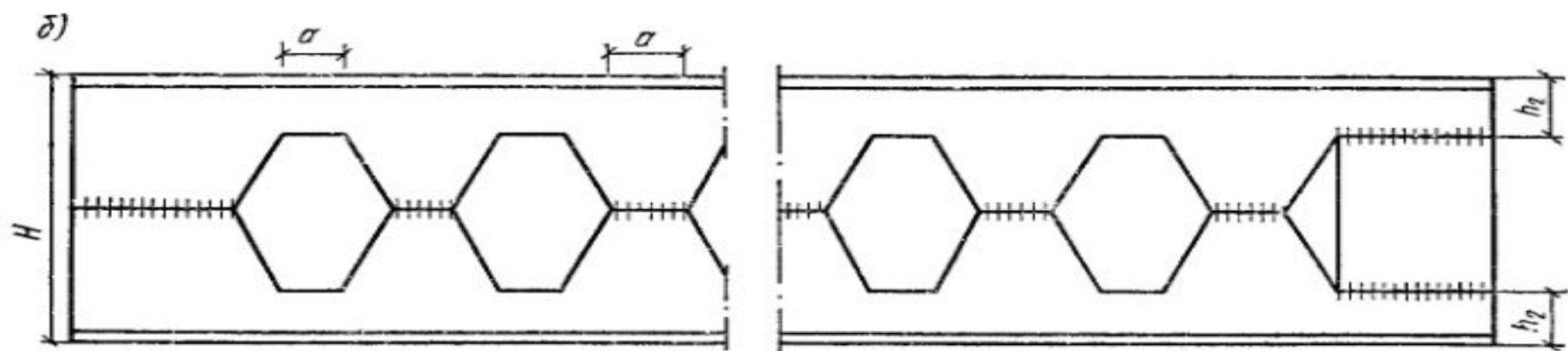
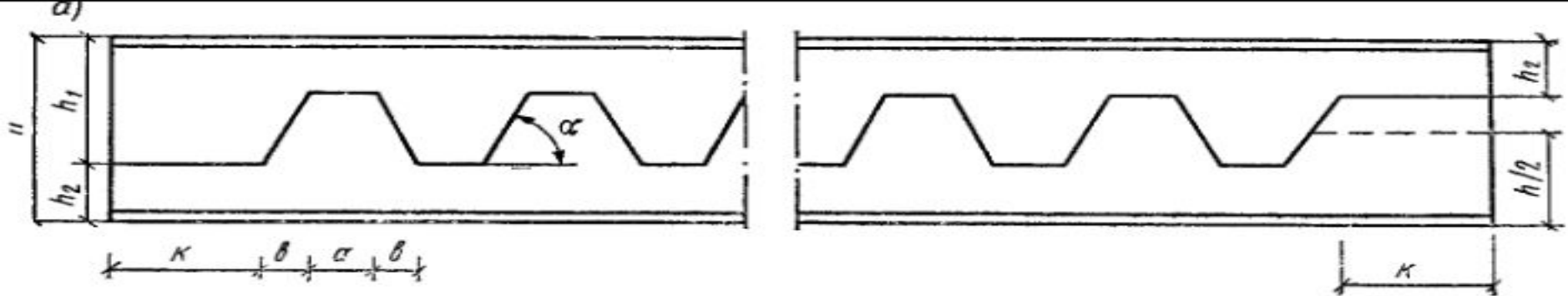
Сварные составные балки могут быть сплошностенчатыми или со стенкой с круглыми, овальными или многоугольными отверстиями, которые используют для прокладки инженерных коммуникаций и других целей. В промежутках между отверстиями устраивают поперечные ребра жесткости, *обеспечивающие устойчивость стенки.*

В последнее время применяют балки с перфорированной стенкой. Перфорированные балки получают путем разрезания двутаврового горячекатаного профиля ломанной линией в продольном направлении. Затем обе части сдвигают до соединения гребней впритык, после чего их сваривают.

Преимущества их в том, что при той же массе балки их несущая способность и жесткость значительно выше. Лучше всего их использовать при больших пролетах и малых нагрузках. Экономия стали 20 – 30%. Однако увеличивается стоимость изготовления, поэтому их применение должно быть экономически оправдано.

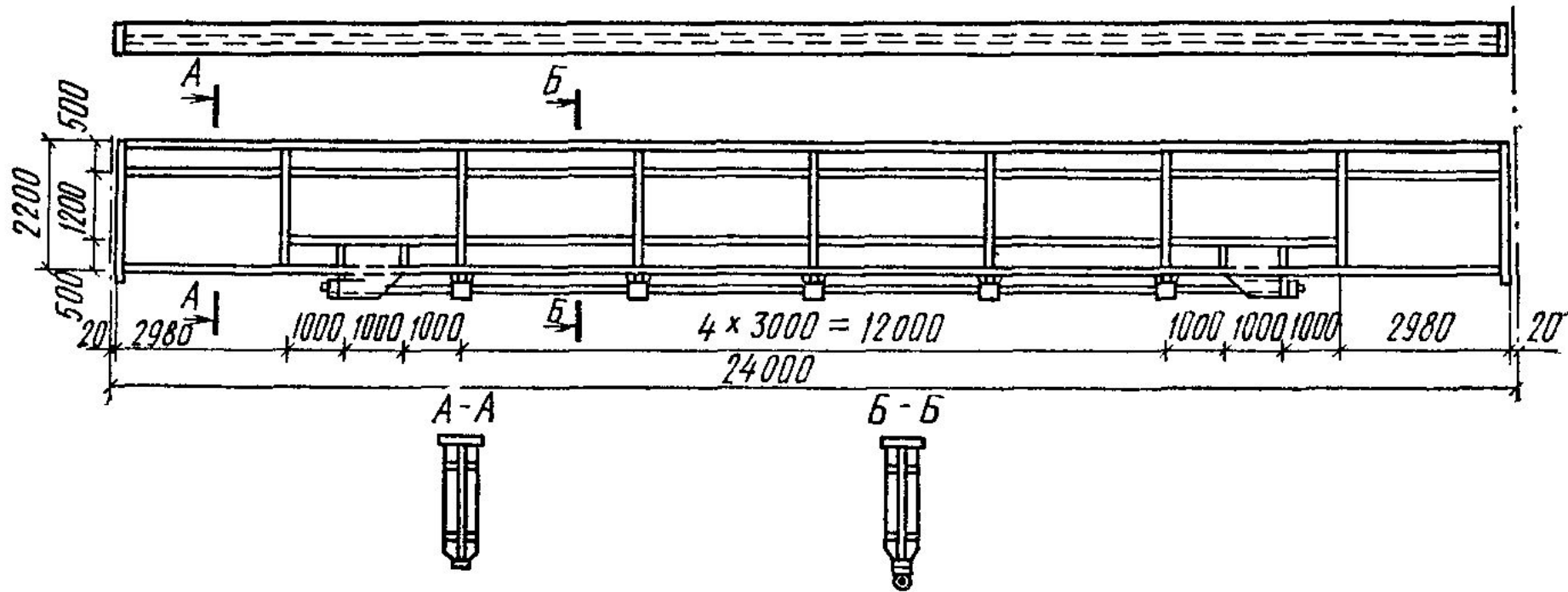
Используются балки с гофрированной стенкой; предварительно напряженные балки; бистальные балки – сваренные из двух марок стали.





Балка с перфорированной стенкой

# ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННАЯ



Предварительное напряжение – один из приемов увеличения эффективности использования материала конструкций. С его помощью удастся уменьшить расход

металла на балку на 10 – 20 %, а стоимость конструкции – на 5 – 12 %.

Эффективность предварительного напряжения объясняется тем, что в конструкции

во время ее возведения создаются предварительные напряжения, обратные по знаку

напряжениям от нагрузки. Во время работы конструкции эти предварительные напряжения используются в первую очередь, и только после их исчерпания

материал



# Компоновка балочных конструкций

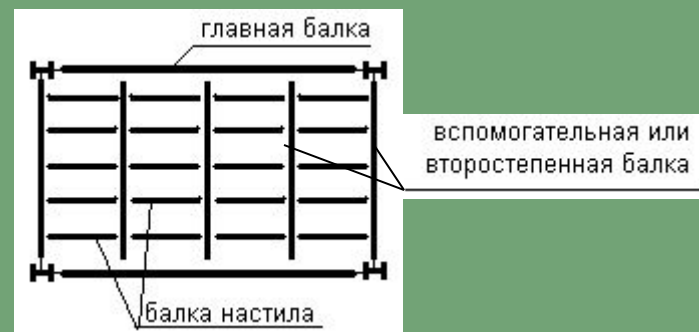
Балочная клетка (БК) – система несущих балок.

БК подразделяется на три основных типа:

**упрощенный,**

**нормальный,**

**усложненный**



Балки настила и вспомогательные балки для снижения трудоемкости перекрытия принимаются прокатными.

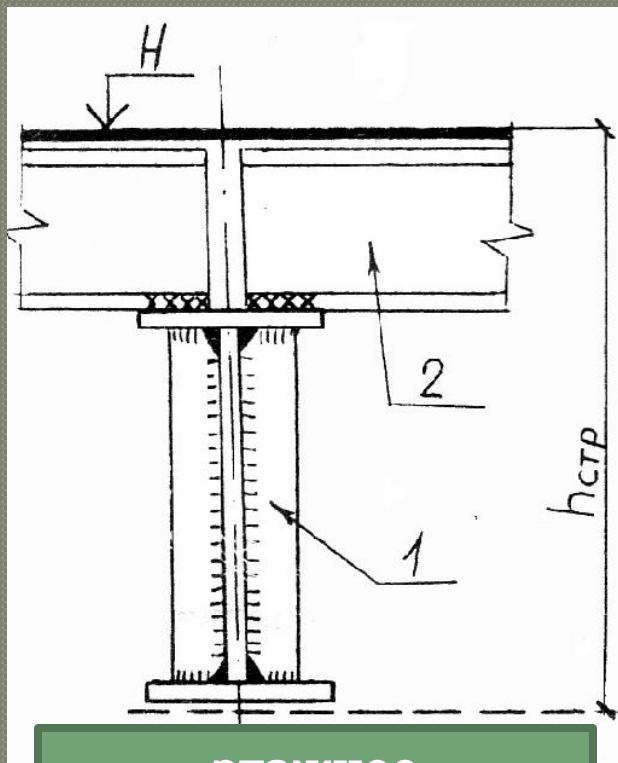
Выбор типа БК связан с вопросом о сопряжении балок между собой по высоте.

Сопряжение может быть:

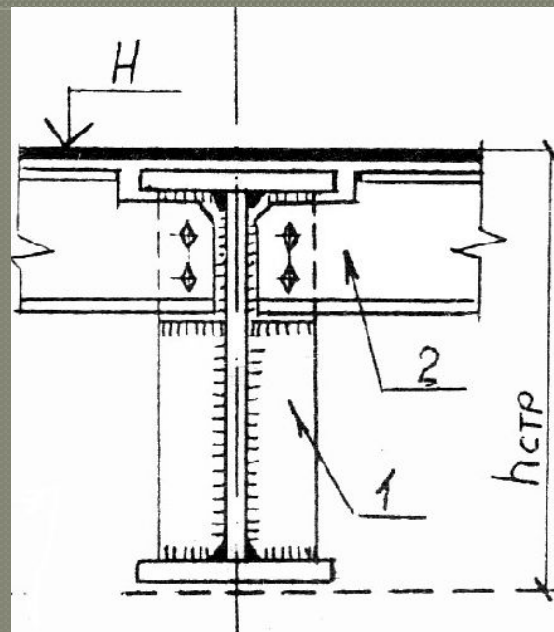
- **этажное** - наиболее простой, но требует наибольшей строительной высоты;
- **в одном уровне;**
- **пониженное** - позволяет увеличить высоту главной балки при заданной строительной высоте.

Расстояния между балками настила определяются несущей способностью настила и обычно бывает  $0,6 \div 1,6$  м – для стального настила;  $2 \div 3,5$  м – для железобетонного настила.

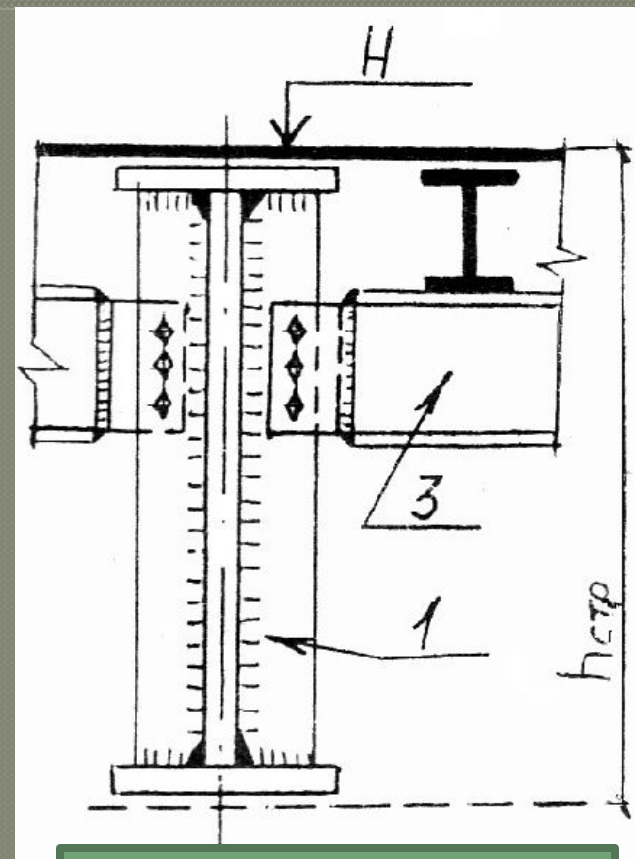
Расстояние между вспомогательными балками –  $2 \div 5$  м, оно должно быть кратно пролету главной балки, при выборе этого расстояния необходимо стремиться получить минимальное число балок, причем прокатных.



этажное



в одном уровне



пониженное

1 – главные балки

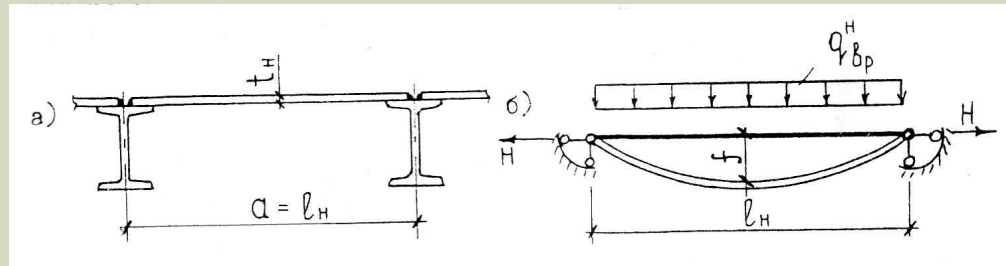
2 – балки настила

3 – вспомогательные балки

В качестве несущего настила чаще всего применяют плоские стальные листы, или настил из сборных ж/б плит. В последнее время широко применяется щитовой настил, состоящий из несущего стального листа, имеющего сверху защитный слой и подкрепленного снизу продольными и поперечными ребрами. Щиты настила имеют размер до 3×12 м.

Полезная нагрузка перекрытий задается равномерно-распределенной интенсивностью до  $40 \text{ кН/м}^2$ , а предельный относительный прогиб не более  $[f/l] \leq 1/150$ .

Простейшая конструкция стального несущего настила состоит из листа, уложенного на балки и приваренного к ним.



а- конструктивная схема опирания; б- расчетная схема

Толщину настила требуется принимать:

6 – 8 мм при	$q \leq 10 \text{ кН/м}^2$ ;
8 – 10 мм при	$11 \leq q \leq 20 \text{ кН/м}^2$ ;
10 – 12 мм при	$21 \leq q \leq 30 \text{ кН/м}^2$ ;
12 – 14 мм при	$q > 30 \text{ кН/м}^2$ .

Приварка настила к балкам делает невозможным сближение опор настила при его прогибе под нагрузкой, что вызывает в нем растягивающие усилия  $H$ , улучшающие работу настила в пролете. Кроме того, приварка защемляет настил, создавая опорные моменты и снижает моменты в пролете под нагрузкой. Однако в запас жесткости защемление обычно не учитывают и принимают опирание настила шарнирно-неподвижным.

При нагрузках, не превышающих  $50 \text{ кН/м}^2$ , и предельном относительном прогибе  $1/150$  прочность шарнирно-закрепленного стального настила всегда будет обеспечена, и его надо рассчитывать только на прогиб.

Опираение настила на параллельные балки позволяет считать, что он изгибается по цилиндрической поверхности. Для расчета такого настила мысленно вырежем из него полосу единичной ширины, закрепленную по концам неподвижными шарнирами, и тогда ее прогиб под нагрузкой

$$f = f_0 \cdot \frac{1}{1 + \alpha} \cdot \sin \frac{\pi x}{l} ,$$

где  $f_0 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E_1 \cdot J}$  - балочный прогиб в середине полосы от поперечной нагрузки  $q$ ;  $E_1 J$  - цилиндрическая жесткость полосы;

$E_1 = \frac{E}{1 - \nu^2}$  и  $\nu$  - коэффициент Пуассона, для стали  $\nu = 0,3$  ; ;

$P_3 = \frac{\pi^2 E_1 J}{l^2}$  - Эйлера сила,  $H$  - сила растяжения полосы;  $x$  - расстояние от левой опоры до места определения прогиба;  $l$  - пролет настила.

Полученное отсюда уравнение позволяет приближенно определить отношение наибольшего пролета настила к его толщине  $l/t$  при условии заданного предельного

$$\frac{l}{t} = \frac{4}{15} \cdot n_0 \cdot \left( 1 + \frac{72 E_1}{n_0^4 \cdot q} \right) \quad - \text{Уравнение Телояна,}$$

где  $n_0 = \left[ \frac{f}{l} \right] = 150$  ;

$q$  - нормативная нагрузка на настил.

Силу  $H$ , на действие которой надо проверить сварные швы, прикрепляющие настил, можно определить по приближенной формуле

$$H = \gamma_f \frac{\pi^2}{4} \cdot \left[ \frac{f}{l} \right]^2 \cdot E_1 \cdot t$$

где  $\gamma_f$  - коэффициент надежности по нагрузке, тогда

$$k_f = \frac{H}{\beta_f \cdot l_w \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c}$$

Если размеры настила  $t$  и  $l$  известны, то можно проверить его несущую способность  $\sigma = \frac{H}{A} + \frac{M}{W}$  б:

$$\sigma = \frac{H}{A} + \frac{M}{W}$$

$$H = \frac{\pi^2 E_1 J}{l^2} \cdot \alpha$$

$$M = M_0 \cdot \frac{1}{1 + \alpha}$$

где  $M_0 = \frac{ql^2}{8}$  - балочный момент;

$A = l \cdot t$  - площадь сечения полосы;

$W = \frac{l \cdot t^2}{6}$  - момент сопротивления полосы.

$\alpha$  - из уравнения:

$$\alpha(1 + \alpha^2) = 3 \left( \frac{f_0}{t} \right)^2 ; f_0 - \text{балочный прогиб.}$$

**Железобетонный настил.** Наряду с металлическими настилами в перекрытиях находят применение железобетонные плиты.

Расчетный пролет плиты, м	Толщина железобетонной плиты, см, при временной нормативной нагрузке, кН/м <sup>2</sup>			
	15 – 20	20 – 25	25 – 30	30 - 35
1,5 – 2	10	12	12	14
2,1 – 2,5	12	12	14	16

# Подбор и проверка сечений прокатных балок

Расчет на прочность прокатных балок, изгибаемых в одной из главных плоскостей

$$\sigma = \frac{M}{W_n} \leq R_y \gamma_c$$

где  $W_n$  – момент сопротивления нетто.

Отсюда требуемый момент сопротивления балки «нетто»

$$W_n^{тp} = \frac{M_{max}}{R_y \gamma_c}$$

Выбрав тип профиля балки по  $W_n^{тp}$  по сортаменту подбирают ближайший больший номер балки.

Однако для разрезных балок сплошного сечения из стали с  $R_y$  до 580 МПа, под действием статических нагрузок, обеспеченных от потери общей устойчивости и ограниченной величине касательных напряжений в одном сечении с наиболее неблагоприятным сочетанием  $M$  и  $Q$ , следует использовать упругопластическую работу материала и проверять их прочность по формулам:

- при изгибе в одной из главных плоскостей и  $\tau \leq 0,9R_s$

$$\sigma = \frac{M_{max}}{C_1 \cdot W_n} \leq R_y \gamma_c$$

- при изгибе в двух главных плоскостях и  $\tau \leq 0,5R_s$

$$\sigma = \frac{M_x}{C_x \cdot W_{xx}} + \frac{M_y}{C_y \cdot W_{yy}} \leq R_y \gamma_c$$

где  $C_1; C_x; C_y$  – по таблица 66, /СНиП/:

$$\tau = \frac{Q}{t \cdot h}$$





## 3.4 Проектирование составных балок

---

**Балки составного сечения применяют в случаях, когда прокатные балки не удовлетворяют условиям прочности, жесткости, общей устойчивости, то есть при больших пролетах и больших изгибаемых моментах.**

**Сечение балки составного сечения подбирается компоновкой и от ее правильного решения во многом зависят экономичность и технологичность балок.**

**Начинают компоновку с определения высоты балки, от которой зависят все остальные параметры балок.**

## Высота балки определяется:

- экономическими соображениями,
- максимально допустимым прогибом,
- иногда строительной высотой перекрытия, (которая обычно задается технологами или архитекторами)

Наибольшая высота  $h_{opt}$  – диктуется

экономическими соображениями  
Масса балки состоит из массы поясов, стенки и конструктивных элементов, которые учитываются коэффициентом, при чем с увеличением высоты балки масса поясов уменьшается, а масса стенки увеличивается.

Т.к. массы поясов и стенки с изменением высоты балки изменяются неодинаково – одна убывает, другая возрастает, то должно быть наименьшее значение суммы обеих функций, т.е. должна

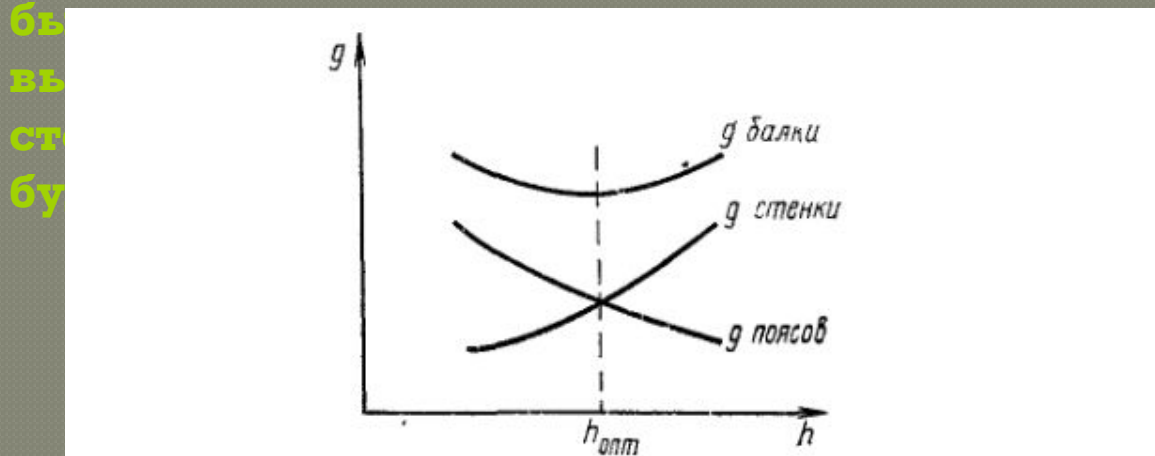


График зависимости массы балки от высоты сечения

Эта высота называется оптимальной ( $h_{opt}$ ) – она определяет наименьший расход материала на балку \_\_\_\_\_

$$h_{opt} = k \sqrt{W/t_w}$$

Коэффициент  $k$  – зависит от конструктивного оформления балки:  
 $k=1,2 \dots 1,15$  – для сварных балок постоянного и переменного сечения,

соответственно;

$k=1,25 \dots 1,2$  – для клепанных балок.

*Из формулы видно, что соотношение между высотой балки*

*и толщиной стенки оказывает большое влияние на экономичность сечения, причем, чем тоньше стенка, тем больше высота и выгоднее сечение балки*