

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О КОНСТРУИРОВАНИИ. ЛЕКЦИЯ 11

**Савин Сергей Юрьевич**  
Доцент кафедры ЖБК, к.т.н.



Процесс проектирования включает две взаимосвязанные части: **расчет** и **конструирование**. Оглядываясь в прошлое, нетрудно заметить, что расчет конструкций начали производить относительно недавно, примерно 150 лет назад. Вопросами же конструирования человек занимался практически всегда.

До создания и применения надежных методов расчета термин «проектирование» был синонимом нынешнего конструирования. В настоящее время во многих случаях эти понятия однозначны, особенно в машиностроении: в конструкторских организациях создают (проектируют) новые машины, механизмы, устройства. Лишь в строительной отрасли эти два понятия - «проектирование» и «конструирование» - неравнозначны.

**Конструирование** - процесс взаимоувязки всех частей и элементов проектируемого изделия (здания, сооружения, строительной конструкции), увязка их расположения и взаимодействия, а также выбор материалов для изготовления отдельных частей и элементов. Строительное проектирование начинается с **разработки объемно-планировочного решения** будущего объекта. Эту часть проектирования можно назвать конструированием здания или сооружения. Окончание проектирования объекта состоит в детальной проработке каждого элемента здания, т. е. конструировании строительных изделий. Чтобы отличить эти два вида конструирования, для первого из них (разработка объемно-планировочных решений зданий и сооружений) введен специальный термин — **«КОМПОНОВКА»**.

**Компоновка** — процесс выбора оптимального объемно-планировочного решения проектируемого объекта с учетом функциональных связей его частей, а также выбор конструктивного решения объекта и материалов для применяемых строительных изделий.

В прошлом строительное проектирование определялось как архитектурное проектирование, поскольку какие-либо прочностные расчеты не выполнялись. В архитектурном проектировании часто применяют термин **«архитектурная композиция»**, выражающий эстетический взгляд на будущий объект. Отсюда появилось словосочетание **«компоновать здание»**, и как логическое завершение узаконен термин **«компоновка»**.

В дальнейшем будем использовать термины «компоновка» при проектировании зданий и сооружений, «конструирование» при проектировании строительных изделий и элементов.

**Главными задачами конструирования** (и компоновки в том числе) полагают решение следующих вопросов:

- определение конфигурации и габаритов сооружения в целом, очертания и габаритов конструкций и их элементов;
- выбор взаимного расположения всех частей здания (стены, подножие и завершение здания, оконные и дверные проемы, перекрытия, балконы и т. д.);
- соединения элементов друг с другом (узлы сопряжения элементов и способы осуществления предусмотренных закреплений);
- выбор материалов для каждой части сооружения или для конструкций.

Основной принцип строительного конструирования можно сформулировать следующим образом: следует выбирать такие материалы, элементы, способы их соединения, которые обеспечивают надежную работу сооружения с минимальными материальными затратами при возведении и наименьшими

## ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ

В настоящее время общеизвестно, что **надежность** работы и эффективность сооружения или конструкции можно обеспечить, если будут выполнены требования не только **прочности**, но и **жесткости**. В подавляющем большинстве случаев жесткость здания или сооружения играет более важную роль, чем прочность. Например, если сечения стен, перекрытий и других частей здания назначать только из условий прочности, то здание будет непригодным к эксплуатации: прогибы и перемещения элементов станут настолько большими, что вызовут ощущение постоянной опасности у любого человека (**эстетические и психо-физиологические критерии**). Поэтому особые требования в первую очередь следует предъявлять именно к жесткости здания или его конструкций, а затем уже и к их прочности. Иными словами, размеры поперечных сечений элементов и конструкций должны быть такими, чтобы деформации зданий и сооружений оставались незаметными «на глаз». Такие же требования необходимо предъявлять и к узлам сопряжения элементов.



# ПРЕДЕЛЬНЫЙ ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ. ПЛАСТИЧЕСКИЙ МОМЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Многовековой опыт строительства позволил выработать четкие правила конструирования. Когда строители уяснили характер работы зданий, конструкций и их элементов, после создания методов их расчета на прочность и жесткость, появилась возможность разрабатывать новые конструктивные решения, позволившие перекрывать пролет до 1 км и более. Благодаря успехам строительной механики оказалось возможным возводить многие грандиозные сооружения (ранее невозможные), которые в настоящее время относят к памятникам строительного искусства. Однако правила конструирования при этом не утратили своего значения. Напомним утверждение Ф. Леонгардта: **«Качественное конструирование для сооружения важнее, чем слишком точный расчет»**.

Тем не менее ошибки при конструировании происходят. Чаще всего такие ошибки происходят при переоценке влияния расчета на надежную работу конструкции. Подобные ошибки часто вызваны недостаточной изученностью тех или иных явлений.



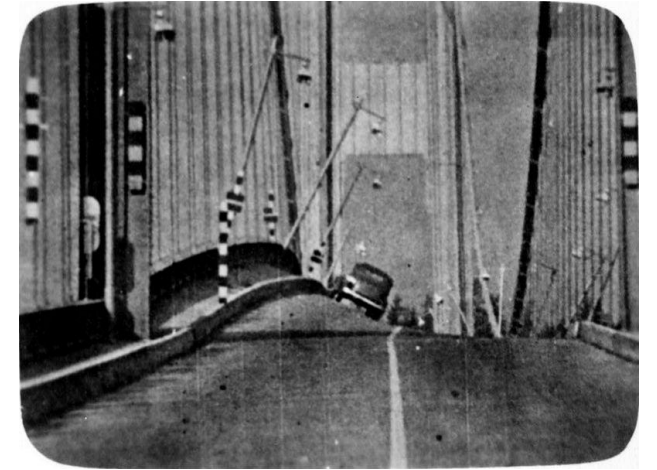
# РЕЗУЛЬТАТЫ ИГНОРИРОВАНИЯ ВОПРОСОВ, СВЯЗАННЫХ С ЖЕСТКОСТЬЮ СООРУЖЕНИЯ

Мост Такома Нэрроуз даже при среднем ветре (для той местности) получал размах колебаний такой величины, что местные жители прозвали его «скачущей Гертой». Вскоре после постройки ветер достиг скорости 70 км/ч, далекой от общепринятой ураганной скорости. При этом амплитуда горизонтальных колебаний достигла критической величины, и наступило явление резонанса.

Процесс раскачки моста до его обрушения продолжался почти трое суток.

Основной дефект конструкции моста - недостаточная жесткость на действие горизонтальных нагрузок и на восприятие крутящих моментов, о чем свидетельствует столетний опыт эксплуатации мостов данного вида. Лишь после аварии моста Такома Нэрроуз этот опыт учли, и современные подвесные мосты имеют достаточную жесткость, в том числе и на кручение. Проведенные на моделях исследования позволили изучить природу воздушных завихрений, возникающих попеременно то с одной, то с другой стороны моста. Давление воздуха становится большим на одной или другой стороне препятствия, что приводит к образованию периодических колебаний давления в потоке.

Если вызванная вихрями частота аэродинамического воздействия совпадает с одной из собственных частот колебаний обтекаемого



Разрушение моста Такома Нэрроуз

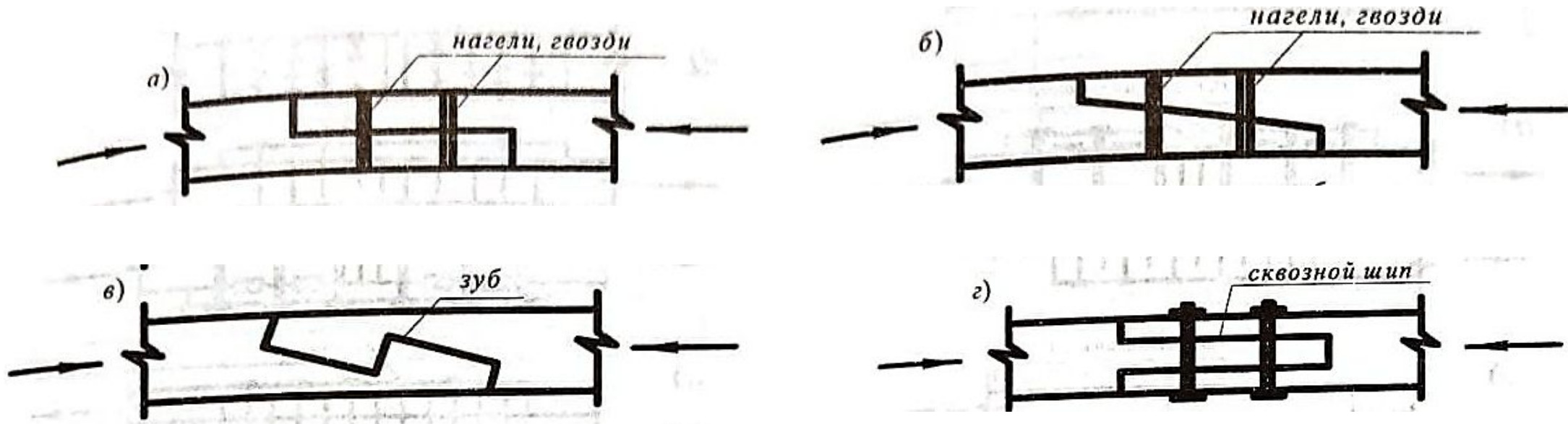


В большинстве случаев деревянные конструкции представляют собой совокупность элементов (брусьев, досок и т. д.), соединенных между собой тем или иным способом. Многие века использования древесины позволили выработать различные виды соединений элементов в зависимости от назначения конструкции: фермы, стропила, балки и др. В настоящее время известны четыре основных вида соединений деревянных элементов:

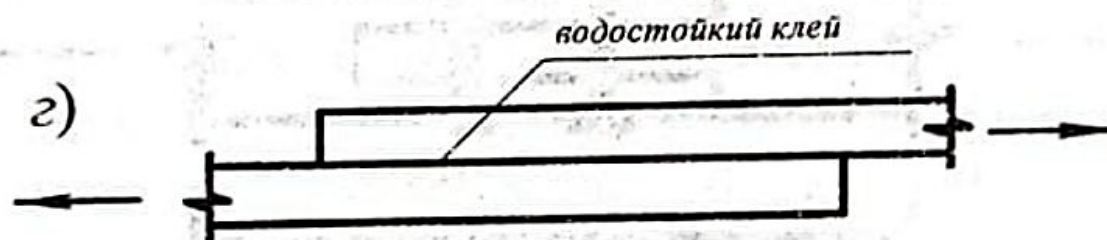
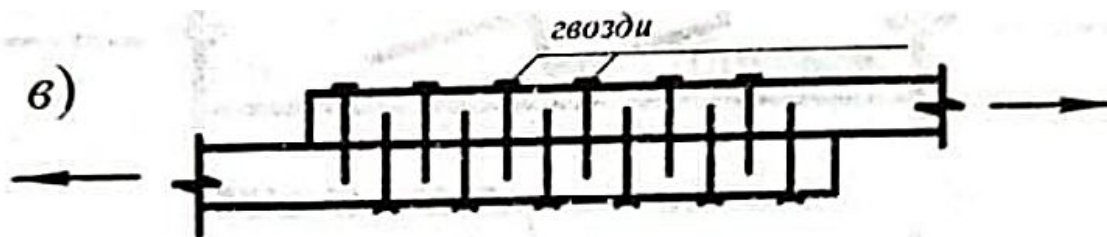
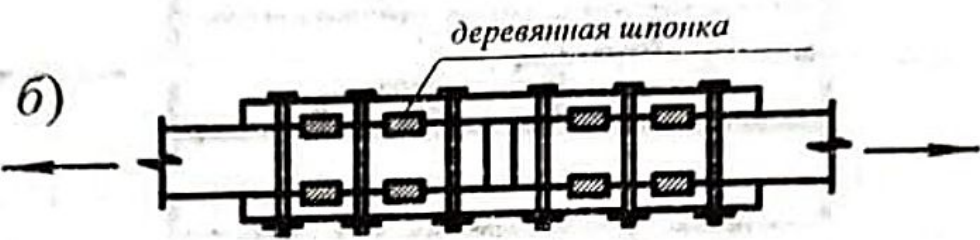
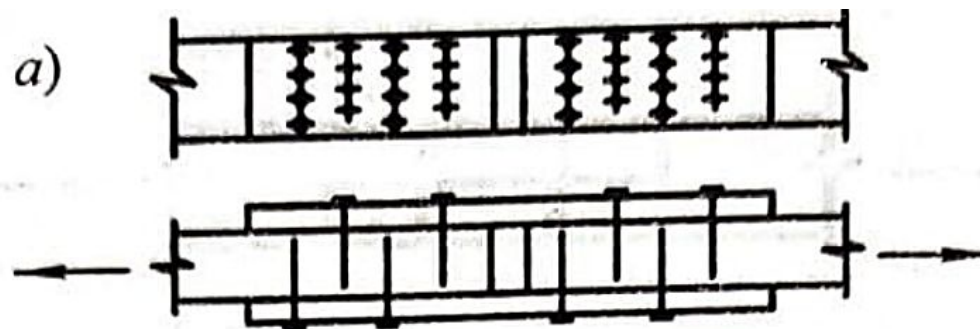
1. сращивание, т. е. сопряжение бревен, брусьев и досок впритык по длине (балки);
2. наращивание, т. е. сопряжение бревен и брусьев впритык в вертикальном направлении (стойки);
3. сплачивание, т. е. соединение бревен, брусьев и досок по всей их длине (стены, полы и др.);
4. угловые сопряжения, т. е. соединение бревен, брусьев и досок под различными углами (углы стен, опорные узлы ферм и др.)

## СОЕДИНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ. ДРЕВЕСИНА

Для соединения сжатых элементов (наращивания) обычно применяют прямые или скошенные накладные замки, скрепленные нагелями (гвоздями из твердых пород древесины), железными гвоздями или болтами (рис. а, б). Иногда применяют врубки со скошенными замками (рис. в) или парные стальные накладки со стяжными болтами (рис. г).

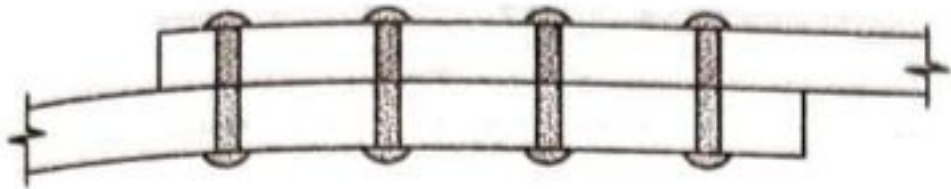


# СОЕДИНЕНИЕ РАСТЯНУТЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

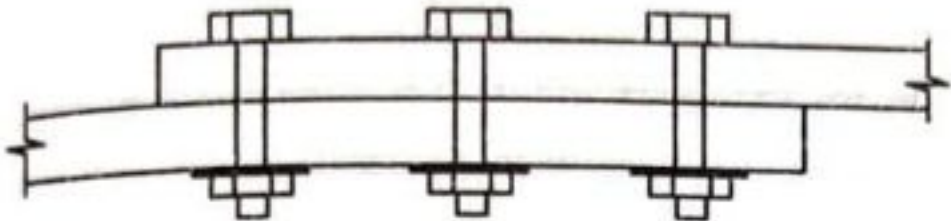


# СОЕДИНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ «ВНАХЛЕСТ»

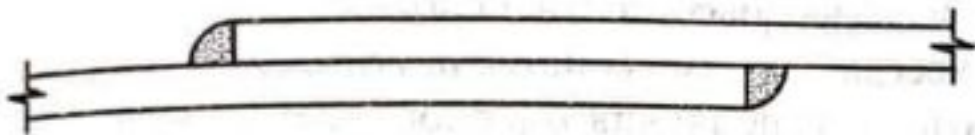
Следует отметить, что нахлестанное соединение обладает существенным недостатком - значительной концентрацией напряжений, при этом неважно, какими средствами осуществлено соединение: с помощью гвоздей (преимущественно для деревянных конструкций), сварки, болтов или заклепок. Во всех случаях наибольшая интенсивность передачи нагрузки сосредоточена на концах соединения. Подобная концентрация напряжений может угрожать разрушением материала.



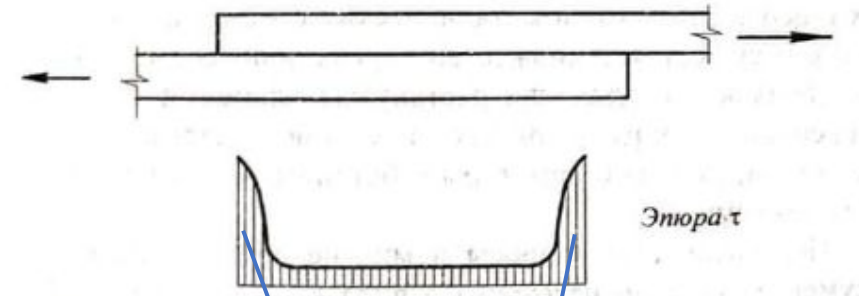
**Соединение на заклепках**



**Болтовое соединение**



**Сварное соединение**

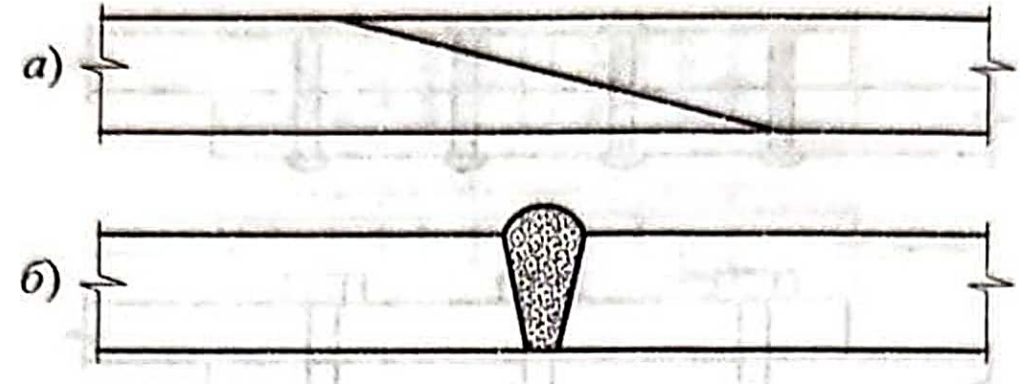


**Концентрация напряжений**

## СОЕДИНЕНИЕ «ВСТЫК»

Понимание работы «нахлестки» позволило создать такие соединения, в которых возникает небольшая концентрация напряжений или же отсутствует вовсе. Например, клеевое соединение деревянных брусьев по наклонной плоскости (рис. а); сварное соединение металлических листов встык (рис. б). Однако подобные соединения требуют особой тщательности и добросовестности исполнителей, что может быть осуществлено далеко не всегда.

Перечисленные вопросы и многие другие в нормативных документах обычно изложены в виде конструктивных требований: каково расположение гвоздей, болтов, заклепок; какими должны быть соотношения между диаметрами гвоздей или болтов и толщиной соединяемых деталей; как размещать арматурные стержни в бетоне и многое другое. Как правило, конструктивные требования отражают предшествующий опыт строительства, обеспечивая тем самым надежную работу здания» сооружения, строительной конструкции.



Соединения элементов без концентрации напряжений

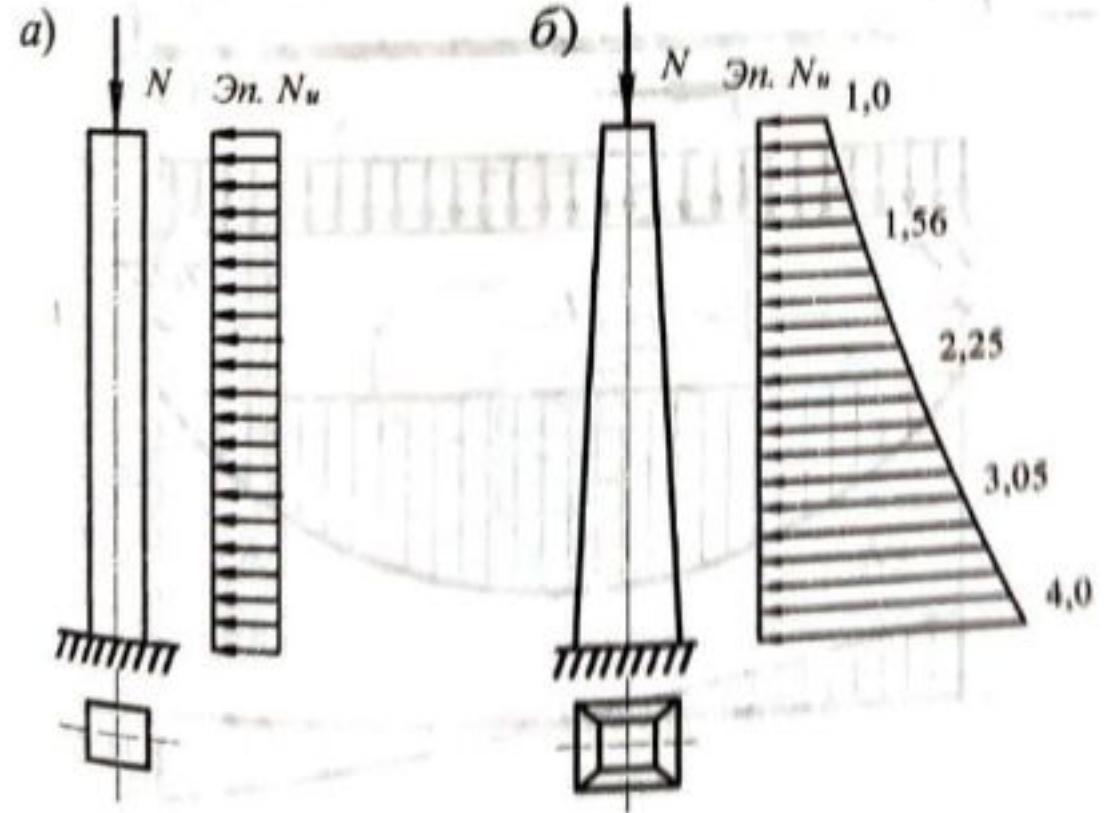


Рассмотрим взаимосвязь расчета и конструирования на примере эпюры материалов.

**Эпюра материалов** – графическое изображение прочности сечения вдоль оси элемента в зависимости от расхода материалов.

Для элемента постоянного сечения из одного и того же материала прочность в любом сечении будет одинакова. Поэтому эпюра материалов здесь имеет вид прямоугольника по всей длине элемента.

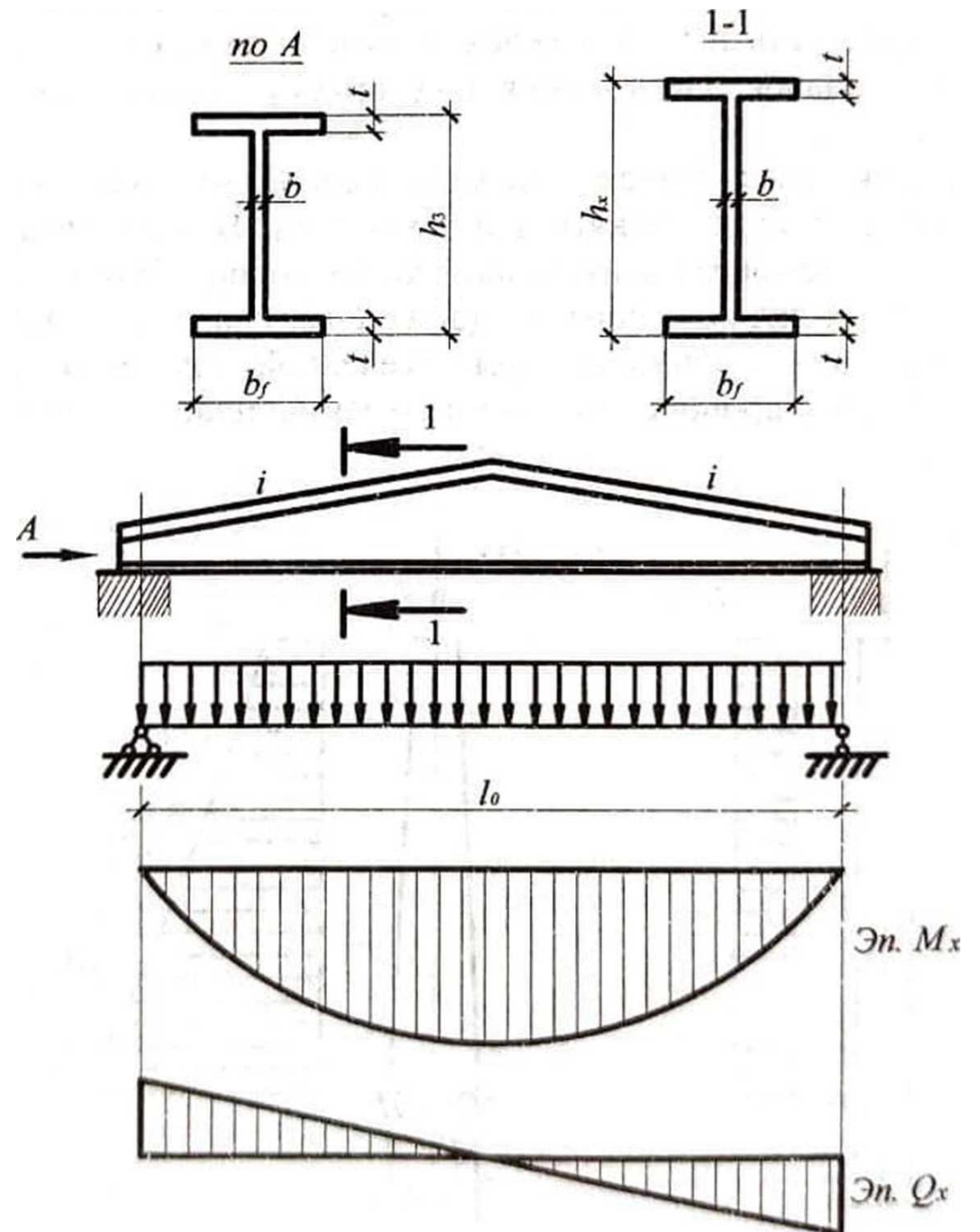
Если же рассматривать элемент переменного сечения – соответственно, будет меняться и прочность. В этом нетрудно убедиться на примерах центрально-сжатых колонн. Для колонны постоянного сечения эпюра  $N_u$  (эпюра материалов) - прямоугольник, а для колонны в форме усеченной пирамиды эпюра криволинейна и пропорциональна изменению площади сечений





Размерность эпюры материалов соответствует размерности тех внутренних усилий, по которым производят проверку прочности.

Решим конкретную задачу, чтобы уяснить использование эпюры материалов при проектировании. Требуется определить **положение опасного сечения** в двускатной балке покрытия симметричного двутаврового профиля.



Балка воспринимает статическую нагрузку, равномерно распределенную по всему пролету. Материал балки - сталь с расчетным сопротивлением по пределу текучести  $R_y < 580$  Мпа и с расчетным сопротивлением по временному сопротивлению  $R_u > 1.3R_y$ . В соответствии с основным принципом расчета по предельным состояниям в любом сечении элемента необходимо обеспечить выполнение условия:

$$M_x \leq M_{ux},$$

Где  $M_x$  - изгибающий момент от внешних нагрузок в произвольном поперечном сечении балки  $x$ ;

$M_{ux}$  - прочность балки по моменту в том же сечении.

В сечении балки на расстоянии  $x$  от левой опоры имеем

$$M_x = qx(l_0 - x)/2,$$

где  $l_0$  – расчетный пролет балки.

## ЭПЮРА МАТЕРИАЛОВ

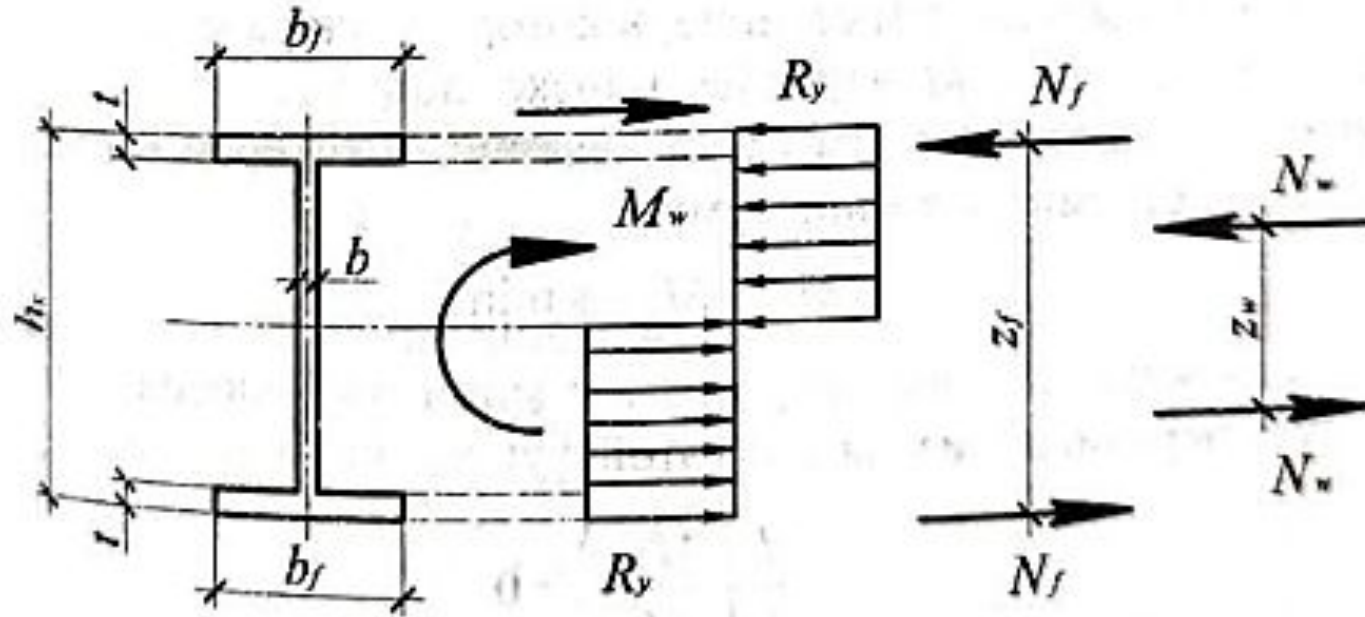


Схема действия внутренних усилий в предельном состоянии балки

для произвольного сечения  $x$

В соответствии с этой схемой прочность балки в сечении  $x$  равна

$$M_{ux} = N_f z_f + N_w z_w,$$

где  $N_f$ ,  $N_w$  – усилие в полке и в стенке балки соответственно ;  $z_f$ ,  $z_w$  – плечо внутренней пары для  $N_f$  и  $N_w$  соответственно.

$$N_f = R_y b_f t;$$

$z_f$  – плечо внутренней пары сил для усилий;

$$z_f = h_x - t = h_s - t + ix;$$

$N_w$  – усилия в стенке;

$$N_w = R_y b (h_x / 2 - t) = R_y b (h_s / 2 - t + ix / 2);$$

$z_w$  – плечо внутренней пары сил для усилий  $N_f$ ;

$$z_w = h_x / 2 - t = h_s / 2 - t + ix / 2;$$

$h_s$  – высота опорного сечения балки.

В формулах принято, что высота сечения балки на расстоянии  $x$  от опоры для левой половины пролета равна

$$h_x = h_s + ix,$$

где  $i$  – уклон верхнего пояса балки.

$$M_{ux} = R_y b_f t (h_s - t + ix) + R_y b (h_s / 2 - t + ix / 2)^2.$$

Полагаем опасным сечение, в котором эпюра моментов  $M$  и эпюра материалов  $M$  наиболее близко подходят друг к другу. Иными словами, опасным будет сечение, в котором отношение моментов стремится к минимуму:

$$M_{ux} / M_x \rightarrow \min.$$

Как известно, для нахождения минимума любой функции следует первую произвольную этой функции приравнять к нулю:

$$\frac{d}{dx} \left( \frac{M_{ux}}{M_x} \right) = 0,$$

или

$$\frac{M_x \cdot dM_{ux} - M_{ux} \cdot dM_x}{M_x^2} = 0.$$

Учитывая, что при  $x > 0$ ,  $M_x > 0$

$$dM_{\max} = R_y b x i^2 / 2 + R_y i [b_f t + b(h_s / 2 - t)];$$

$$dM_x = q l_0 / 2 - q x;$$

После преобразований получим:

$$a_1 x^2 + a_2 x - a_3 = 0, \quad (1)$$

$$a_1 = i [b_f t + b(h_s / 2 - t + i l_0 / 4)];$$

$$a_2 = 2 [b_f t (h_s - t) + b(h_s / 2 - t)^2];$$

$$a_3 = l_0 [b_f t (h_s - t) + b(h_s / 2 - t)^2].$$

Таким образом, квадратное уравнение (1) позволяет определить положение опасного сечения балки, когда известны все размеры ее поперечных сечений.

Во многих случаях не все размеры балки известны и недостающие размеры необходимо назначить из условия прочности балки в опасном сечении, положение которого также неизвестно. Здесь можно предложить следующий упрощающий прием. Поскольку влияние стенки двутавра невелико, основную часть внутренних усилий в предельном состоянии воспринимают полки, полагаем  $b = 0$ . Тогда вместо уравнения (1) получим:

$$i x^2 + 2(h_s - t)x - l_0(h_s - t) = 0.$$

Поскольку толщина полки значительно меньше высоты металлического двутавра, в последнем уравнении ее влиянием также можно пренебречь, приняв  $t = 0$ . В этом случае имеем

$$i x^2 + 2h_s x - l_0 h_s = 0.$$

**СПАСИБО  
ЗА ВНИМАНИЕ**