

# Лекция 5

**Растянутые элементы.**

**Расчет прочности**

**центрально- растянутых элементов**

## Конструктивные особенности

***Центрально-растянутые элементы*** – это элементы, в нормальном сечении которых точка приложения продольной растягивающей силы  $N$  совпадает с точкой приложения равнодействующей усилий в продольной арматуре.

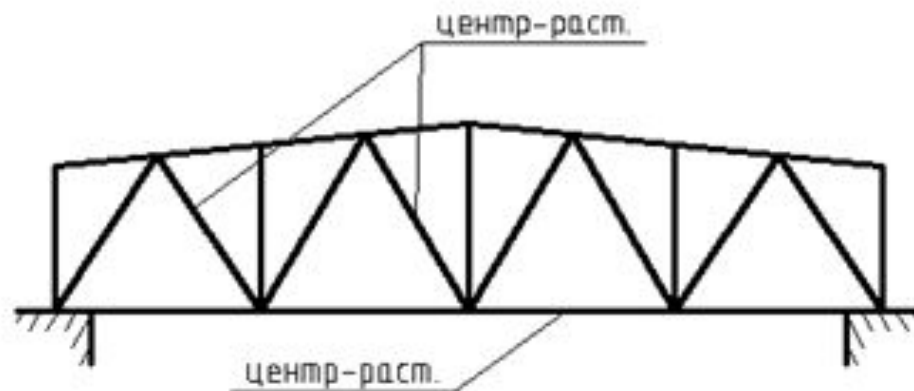
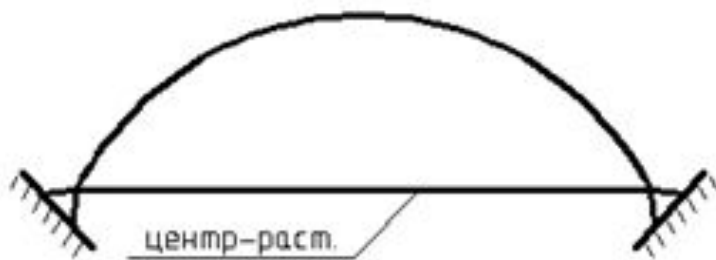
## Конструктивные особенности

В условиях центрального (осевого) растяжения находятся затяжки арок, нижние пояса и нисходящие раскосы ферм, стенки круглых в плане резервуаров для жидкостей и некоторые другие конструктивные элементы.

Центрально-растянутые элементы проектируют, как правило, предварительно напряженными, что существенно повышает сопротивление образованию трещин в бетоне.

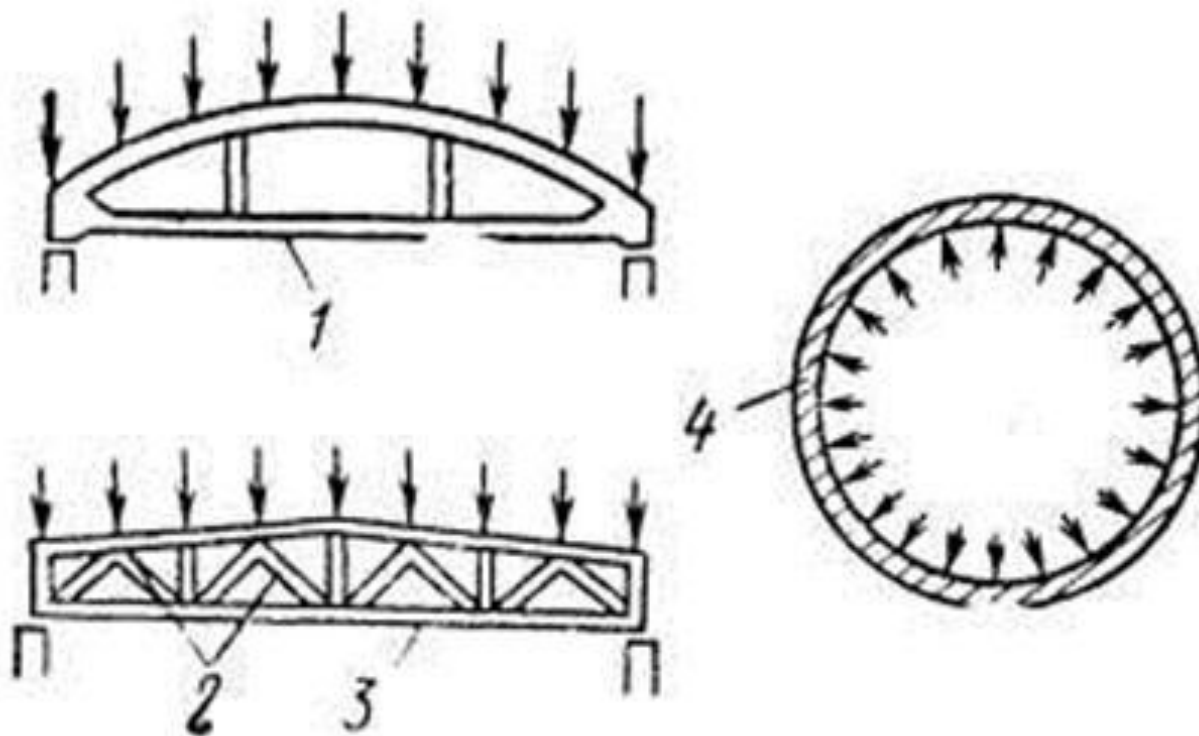
Стержневую рабочую арматуру, применяемую без предварительного напряжения, соединяют по длине обычно сваркой, стыки внахлестку без сварки допускаются только в плитных и стеновых конструкциях.

# Центрально-растянутые элементы



## Центрально-растянутые элементы

- 1 - затяжка арки; 2 - нисходящие раскосы фермы;  
3 - нижний пояс фермы; 4 - стенка круглого в плане резервуара



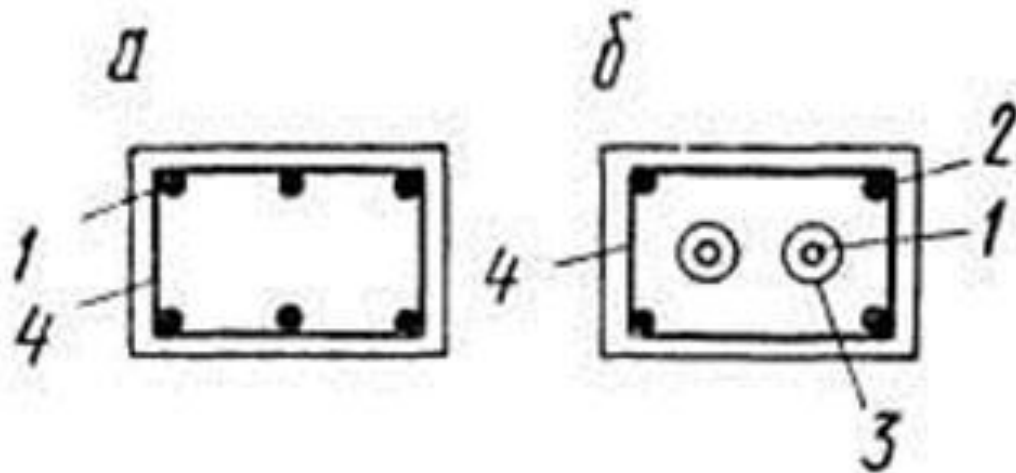
## Армирование центрально-растянутых предварительно напряженных стержневых элементов

*а — при натяжении на упоры, б — то же на бетон*

1 — напрягаемая арматура (стержни, проволочные пучки, арматурные канаты);

2 — ненапрягаемая арматура;

3 — канал для напрягаемой арматуры; 4 — стержни поперечной арматуры.



**Растянутая предварительно напрягаемая арматура** (стержни, проволочные пучки, арматурные канаты) в линейных элементах (затяжки арок, нижние пояса ферм) **не должна иметь стыков.**

В поперечном сечении элемента предварительно напрягаемую арматуру размещают симметрично (слайд 6, а) с тем, чтобы при передаче обжимающего усилия (сразу полностью или постепенно, обжимая сечение усилиями отдельных групп стержней) по возможности избежать внецентренного обжатия элемента.

**При натяжении на бетон** предварительно напряженная арматура, размещаемая в специально предусматриваемых каналах, в процессе обжатия не работает в составе поперечного сечения элемента.

В этом случае целесообразно снабжать предварительно напряженный элемент небольшим количеством ненапрягаемой арматуры (слайд 6, б).

Ее располагают ближе к наружным поверхностям, чтобы она давала больший эффект в усилении элемента против возможных внецентренных воздействий в процессе обжатия.

## Основные принципы конструирования центрально-растянутых элементов

- стержневую рабочую арматуру без предварительного напряжения соединяют по длине сваркой;
- стыки внахлестку без сварки допускаются только в плитных и стеновых конструкциях;
- растянутая предварительно-напряженная арматура в линейных элементах не должна иметь стыков;
- в поперечном сечении предварительно напряженную арматуру размещают симметрично (чтобы избежать внецентренного обжатия элемента);



## Расчет прочности центрально-растянутых элементов

Разрушение центрально-растянутых элементов происходит после того, как в бетоне образуются сквозные трещины, и он выключится из работы, а в арматуре напряжения достигнут предела текучести.

Несущая способность центрально-растянутого элемента обусловлена предельным сопротивлением арматуры без участия бетона:

где  $R_s$  – расчетное сопротивление арматуры растяжению,

$A_{s,tot}$  – площадь сечения всей продольной арматуры.

## **К конструированию элементов**

Конструкция стыков сборных растянутых элементов, через которые передаются растягивающие усилия, предусматривает сварку выпусков арматуры или стальных закладных деталей, а также арматурных изделий, перекрытие стыка арматурой (пучки, канаты, стержни), размещаемой в каналах или пазах и натягиваемой на бетон.

Для растянутых элементов эффективно применение высокопрочной предварительно напряженной арматуры. При конструировании растянутых элементов особое внимание должно быть обращено на концевые участки, на которых должна быть обеспечена надежная передача усилий, а также на стыкование арматуры. Стыки арматуры выполняются, как правило, сварными.

## Общие положения

Полностью на растяжение работают крайне мало конструкций, чаще растянутой является не вся конструкция, а ее отдельные элементы. Растянутые элементы, выполненные из бетона, кирпича, камней и железобетона с ненапрягаемой арматурой, способны выдерживать небольшие растягивающие нагрузки, так как в них при относительно небольших напряжениях появляются трещины и они разрушаются.

**Обычно растянутые элементы выполняются из металла, дерева, и допускается их изготовление из предварительно напряженного железобетона.**

Растянутые элементы делятся на:

централно-растянутые и внецентренно растянутые.

**Централно-растянутыми считаются элементы, растягивающая сила на которые действует по центру тяжести сечения.**

К ним можно отнести: элементы ферм, затяжки арок, стенки резервуаров, подвески.

**Централное растяжение отличается от центрального сжатия направлением усилий, и его можно рассматривать как частный случай центрального сжатия, при котором не возникает продольного изгиба. Структура расчетных формул прочности и гибкости центрально-сжатых и центрально-растянутых элементов одинакова.**

# Стальные центрально-растянутые элементы

Рассмотрим работу центрально-растянутого элемента **на примере стальной полосы**.

При расчете полагается, что при центральном растяжении полосы в ее сечении возникают равномерные растягивающие напряжения  $\sigma$  (слайд 13).

Однако наличие отверстий или вырезов в полосе уменьшает площадь поперечного сечения и вместе с тем приводит к тому, что вблизи отверстий (вырезов) возникает концентрация напряжений (увеличение напряжений по сравнению со средней величиной  $\sigma_m$ ).

Концентрация напряжений может приводить к разрушению. Отверстия (вырезы) должны выполняться без острых углов, с плавными обводами, так как это способствует уменьшению концентрации напряжений.

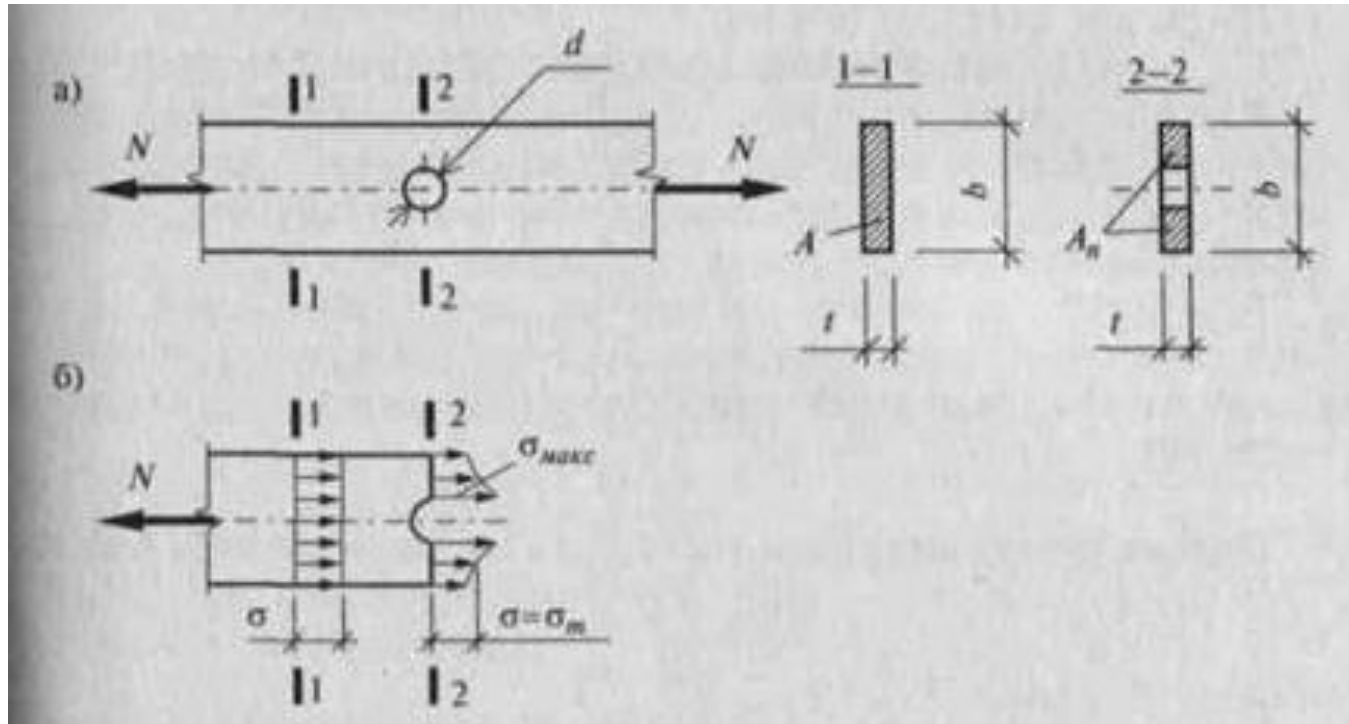
Разрушение центрально-растянутых элементов происходит по сечению с наименьшей площадью —  $A_n$ . В случае если ослабления (отверстия, вырезы) отсутствуют, площадь нетто  $A_n$  равна площади брутто  $A$ .

## К расчету центрально-растянутого элемента

а) растянутый элемент;

б) эпюры нормальных напряжений по сечениям 1-1 и 2-2;

$A_n$  – площадь сечения нетто;  $A$  – площадь сечения брутто



Расчет прочности центрально-растянутого стального элемента ведется по формуле

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R_y \gamma_c,$$

- где  $N$  — наибольшее растягивающее усилие, действующее на элемент;
- $A_n$  — площадь сечения нетто;
- $R_y$  — расчетное сопротивление стали, взятое по пределу текучести;
- $\gamma_c$  — коэффициент условия работы.

Длинные растянутые элементы могут изменять свою первоначальную форму (изгибаться) в результате чрезмерной гибкости, и это может затруднять их дальнейшее применение. Поэтому **гибкости растянутых элементов ограничиваются нормами и зависят от назначения элементов и характера действующих нагрузок** (статические или динамические).

**Проверку гибкости** выполняют по формуле

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} \leq \lambda_{пред.},$$

- где  $l_{ef}$  — расчетная длина элемента;
- $i$  — радиус инерции сечения;
- $\lambda_{пред.}$  — предельная гибкость (см. табл. 20\* СНиП П-23-81\*).

Как и в сжатых элементах, расчетные длины и радиусы инерции в общем случае могут быть различными относительно разных осей ( $i_x$   $i_y$ ), и соответственно различаются гибкости ( $\lambda_x$   $\lambda_y$ ), которые не должны превышать предельную гибкость.

**При расчете центрально-растянутых элементов обычно возникают следующие типы задач:**

- подбор сечения растянутого элемента (тип 1);
- проверка прочности принятого или имеющегося элемента (тип 2).

# Порядок расчета центрально-растянутого стального элемента (тип 1)

1. Принимают сталь с учетом рекомендаций табл. 50\* СНиП П-23-81\* и определяют расчетное сопротивление стали, взятое по пределу текучести,  $R_y$  (табл. 2.2).
2. Определяют коэффициент условия работы растянутого элемента  $\gamma_c$  (табл. 2.3).
3. Определяют требуемую площадь сечения нетто  $A_n \text{ треб}$

$$A_n^{\text{треб}} = \frac{N}{R_y \gamma_c};$$

если элемент не имеет ослаблений площади сечения, брутто и нетто равны,  $A = A_n$ ;

если в элементе имеются ослабления, необходимо требуемую площадь сечения определять как сумму требуемой площади нетто и площади ослабления (величину ослабления назначают, предварительно задавшись толщиной элемента, впоследствии возможна корректировка принятых размеров).

4. По требуемой площади подбирают сечение элемента и определяют фактические значения площади брутто, нетто, значения радиусов инерции сечения.

5. Выполняют проверку подобранных сечений:

- проверяют гибкость:

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \leq \lambda_{\text{предл}};$$

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R_y \gamma_c.$$

- проверяют прочность:



## Тип 2 задачи является частью типа 1 задачи (необходимо выполнить п. 5 порядка расчета). Деревянные центрально-растянутые элементы

На работу древесины при растяжении существенно влияет наличие естественных пороков древесины (сучки, косослой и др.), поэтому для растянутых элементов рекомендуется применять древесину 1-го и 2-го сортов.

Расчет прочности центрально-растянутых деревянных элементов выполняется по формуле (здесь и далее в расчетах центрально-растянутых деревянных элементов сохранены обозначения, принятые в СНиП П-25-80):

$$\sigma = \frac{N}{F_m} \leq R_p,$$

- где  $N$  — расчетная продольная сила;
- $F_m$  — площадь поперечного сечения элемента нетто;
- $R_p$  — расчетное сопротивление древесины растяжению вдоль волокон (принимается с коэффициентами условия работы  $m$ , значения которых определяются в соответствии с указаниями п. 3.2 СНиП П-25-80; так, при наличии ослаблений в расчетном сечении растянутых элементов следует учитывать коэффициент условия работы  $m_n = 0,8$ ).

При определении площади нетто в растянутых деревянных конструкциях принимается во внимание, что при их разрушении линия разрыва может проходить через ослабления, расположенные не в одной плоскости. Поэтому ослабления, расположенные на длине 200 мм, суммируются (слайд 18).

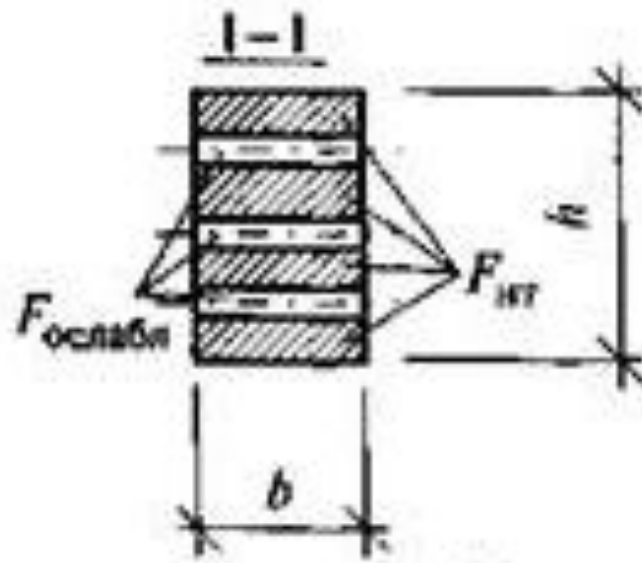
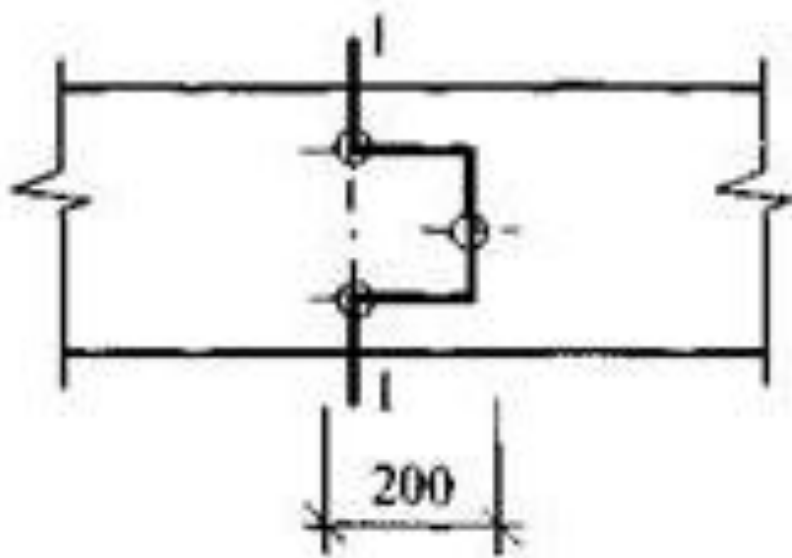
Нормы ограничивают гибкость центрально-растянутых деревянных элементов и отдельных ветвей. Предельные гибкости принимаются в соответствии с табл. 14 СНиП П-25-80.

Так, например:

для растянутых элементов ферм в вертикальной плоскости предельная гибкость  $\lambda_{max} = 150$ ,  
для прочих растянутых элементов ферм и других сквозных конструкций  $\lambda_{max} = 200$ .

## К определению площади нетто:

$F_{нт}$  – площадь сечения элемента нетто;  $F_{ослабл}$  – площадь ослаблений



Проверка гибкости выполняется по формуле:

$$\lambda = \frac{l_0}{r} \leq \lambda_{\max},$$

где  $l$  — расчетная длина элемента;  $i$  — радиус инерции сечения;  $\lambda_{\max}$  — предельная гибкость.

1. Принимают древесину и ее сорт; определяют расчетное сопротивление растяжению вдоль волокон (для древесины сосны, ели)  $R_p$  (табл. 2.4); в случае если элемент выполнен из древесины других пород, расчетное сопротивление умножают на переходной коэффициент  $m_p$  (табл. 2.5). с указаниями п. 3.2 СНиП П-25-80 (так, при наличии отверстий, врезок следует учитывать коэффициент условия работы  $m_0 = 0,8$ ). Определяют требуемую площадь сечения нетто  $F_{\text{треб}}$ :

$$F_{\text{треб}} = \frac{N}{R_p};$$

2. Определяют коэффициенты условия работы в соответствии:

- если элемент не имеет ослаблений (отверстий, врезок), площади сечения брутто и нетто равны,  $F = F_{\text{нт}}$ ;
- если в элементе имеются ослабления, необходимо требуемую площадь сечения определять как сумму требуемой площади нетто и площади ослабления (величину ослабления назначают, предварительно задавшись толщиной элемента, впоследствии возможна корректировка принятых размеров).

3. По требуемой площади подбирают сечение элемента и определяют фактические значения площадей: брутто, нетто, значения радиусов инерции сечения.

4. Выполняют проверку подобранного сечения

- проверяют гибкость:

$$\lambda = \frac{l_0}{r} \leq \lambda_{\max};$$

- проверяют прочность:

$$\sigma = \frac{N}{F_{\text{нт}}} \leq R_p m_0.$$