

# ИНЖЕНЕРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ



**Соединения на высокопрочных болтах.** Такие соединения работают за счет сил трения. Просты в монтаже.

**Самонарезающие болты** отличаются от обычных наличием резьбы полного специального профиля на всей длине стержня болта для нарезания резьбы и завинчивания в ранее образованные отверстия соединяемых деталей. Материал - сталь термоупрочненная.

Применяются в основном  $d = 6\text{мм}$  для прикрепления профилированного настила к прогонам и элементам фахверка. Их большим преимуществом является возможность производить крепежные работы, находясь только с одной стороны конструкции.

**Заклепочные соединения**, в прошлом основной вид соединений металлических конструкций. Из-за неудобства технологического процесса клепки и перерасхода металла на соединение, в настоящее время почти полностью заменены сваркой и высокопрочными болтами.

Они применяются только в **тяжелых конструкциях**, подверженных воздействию динамических и вибрационных нагрузок (например, **высоконапорные глубинные затворы**), а также при использовании трудносвариваемых материалов — некоторые термообработанные стали и алюминиевые сплавы.

# РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИИ

Работа на сдвиг является основным видом работы болтовых соединений. При этом обычные болты (грубой, нормальной и повышенной точности) работают на срез, а стенки отверстий в соединяемых элементах — на смятие

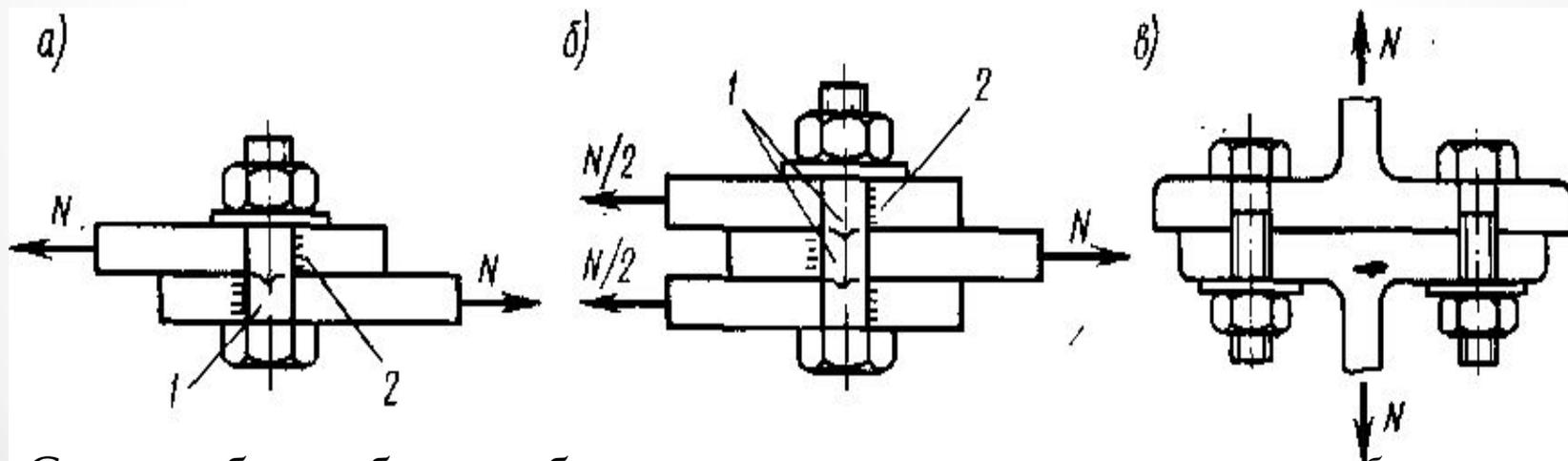


Схема работы обычных болтов: а — односрезное соединение; б — двухсрезное соединение; в — на растяжение; 1 — плоскости среза; 2 — смятие стенок отверстий

Распределение продольной силы  $N$ , проходящей через центр тяжести соединения, между болтами принимается равномерным. Расчетное усилие, которое может быть воспринято одним болтом из условия прочности срезу,

$$N_b = R_{bp} d \Sigma t \gamma_b. \quad (4.13)$$

В формулах (4.12) и (4.13)  $R_{bs}$  и  $R_{bp}$  — расчетные сопротивления болтовых соединений срезу и смятию (табл. 4.4 и 4.5);  $d$  — наружный диаметр стержня болта;  $A_b = \frac{\pi d^2}{4}$  — расчетная площадь сечения стержня болта (табл. 4.6);  $\Sigma t$  — наименьшая суммарная толщина элементов, сминаемых в одном направлении;  $n_s$  — число расчетных срезов одного болта;  $\gamma_b$  — коэффициент условий работы соединения; для болтов грубой и нормальной точности в многоболтовом соединении  $\gamma_b = 0,9$ , для болтов повышенной точности  $\gamma_b = 1$ .

Если внешняя сила, действующая на соединение, направлена параллельно продольной оси болтов, то они работают на растяжение; такую работу соединения называют еще работой на отрыв головок (рис. 4.11, в). Расчетное усилие на растяжение, которое может быть воспринято одним болтом,

$$N_b = R_{bt} A_{bn}, \quad (4.14)$$

где  $R_{bt}$  — расчетное сопротивление болтов растяжению;  $A_{bn}$  — площадь сечения болта нетто (табл. 4.6).

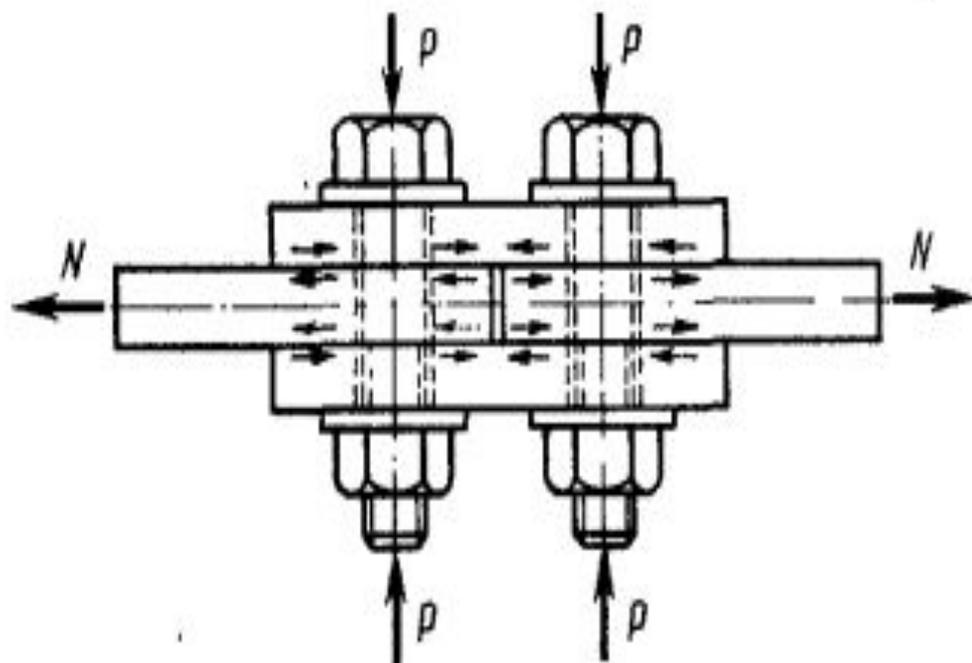


Рис. 4.12. Схема работы соединения на высокопрочных болтах .

Решающее значение в работе соединения на высокопрочных болтах имеют сила натяжения болта и качество поверхностей трения.

Необходимое число болтов в соединении

$$n \geq N / (N_{b, \min} \gamma_c), \quad (4.15)$$

где  $N_{b, \min}$  — меньшее из значений расчетного усилия для одного болта, вычисленных по формулам (4.12) и (4.13) при работе соединения на сдвиг, или усилие по формуле (4.14) при работе соединения на растяжение.

Расчетное усилие, которое может быть воспринято каждой поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним высокопрочным болтом (рис. 4.12), определяют по формуле

$$Q_{bn} = R_{bh} \gamma_b A_{bn} \mu / \gamma_h, \quad (4.16)$$

где  $R_{bh} = 0,7 R_{bun}$  — расчетное сопротивление растяжению высокопрочного болта ( $R_{bun}$  — наименьшее временное сопротивление материала болта, табл. 4.7);  $\gamma_b$  — коэффициент условий работы соединения, зависящий от количества болтов  $n$  (при  $n < 5$   $\gamma_b = 0,8$ ; при  $5 \leq n < 10$   $\gamma_b = 0,9$ ; при  $n \geq 10$   $\gamma_b = 1$ );  $A_{bn}$  — площадь сечения болта нетто по табл. 4.6;  $\mu$  — коэффициент трения, зависящий от характера обработки поверхностей соединяемых элементов, принимаемый по табл. 4.8;  $\gamma_h$  — коэффициент надежности, зависящий от вида нагрузки (статическая или динамиче-

Размещение болтов в листах и прокатных профилях может быть рядовое и в шахматном порядке. Линии, проходящие по центрам отверстий, называют *рисками*. Расстояние между рисками вдоль усилия называют *шагом*, а поперек усилия — дорожкой (рис.

Минимальные расстояния между центрами болтов в стальных конструкциях определяются условием прочности основного металла, максимальные расстояния — условиями устойчивости соединяемых элементов в промежутке между болтами или заклепками при сжатии и плотностью соединения растянутых элементов и приводятся ниже.

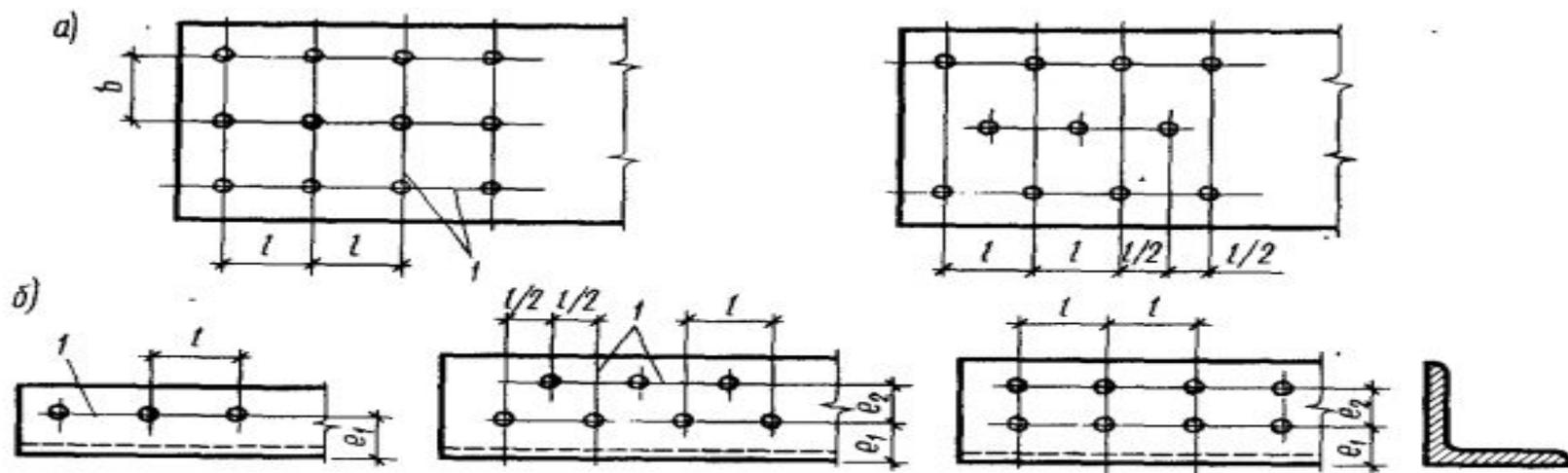


Рис. 4.13. Размещение отверстий:

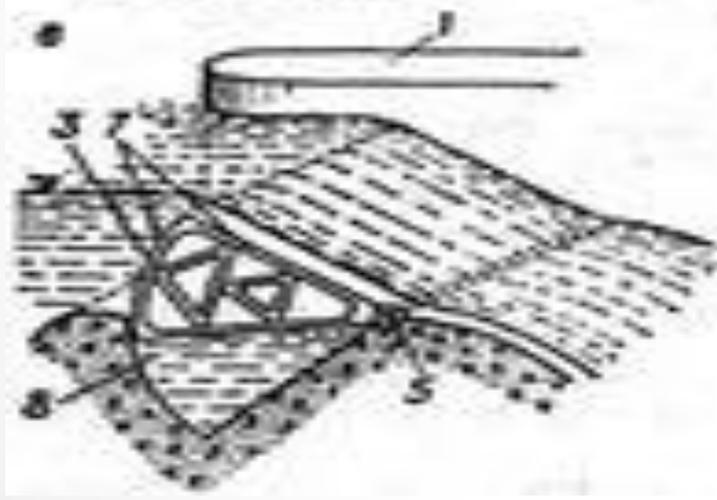
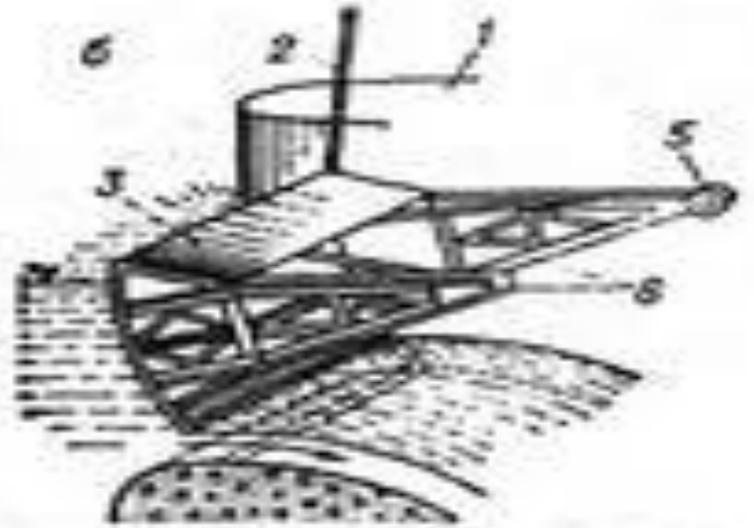
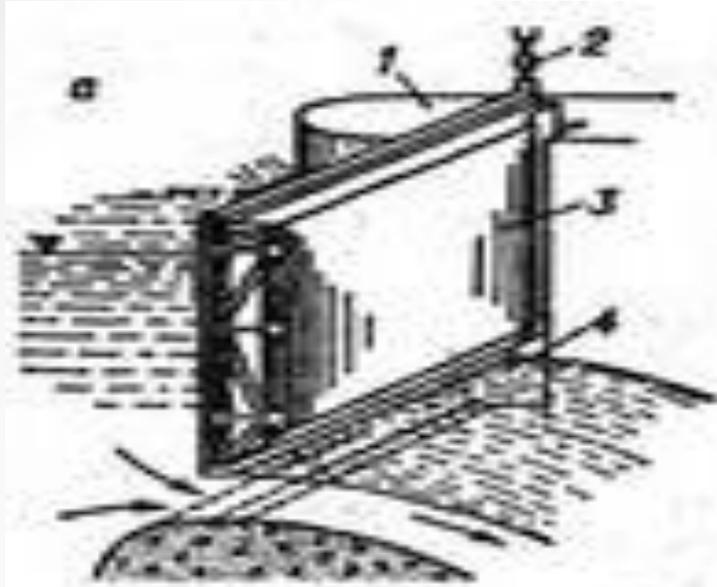
а — в листовом материале; б — в прокатных профилях;  $l$  — риски;  $l$  — шаг;  $e$  — дорожка

# ЗАТВОРЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

**Затворы** - конструкции, закрывающие и открывающие в гидротехнических сооружениях отверстия для пропуска воды, а также судов, плотов, льда и других плавающих тел.

Затворы всех типов и любого назначения вместе с их закладными и опорно-ходовыми частями относят к механическому оборудованию гидротехнических сооружений.



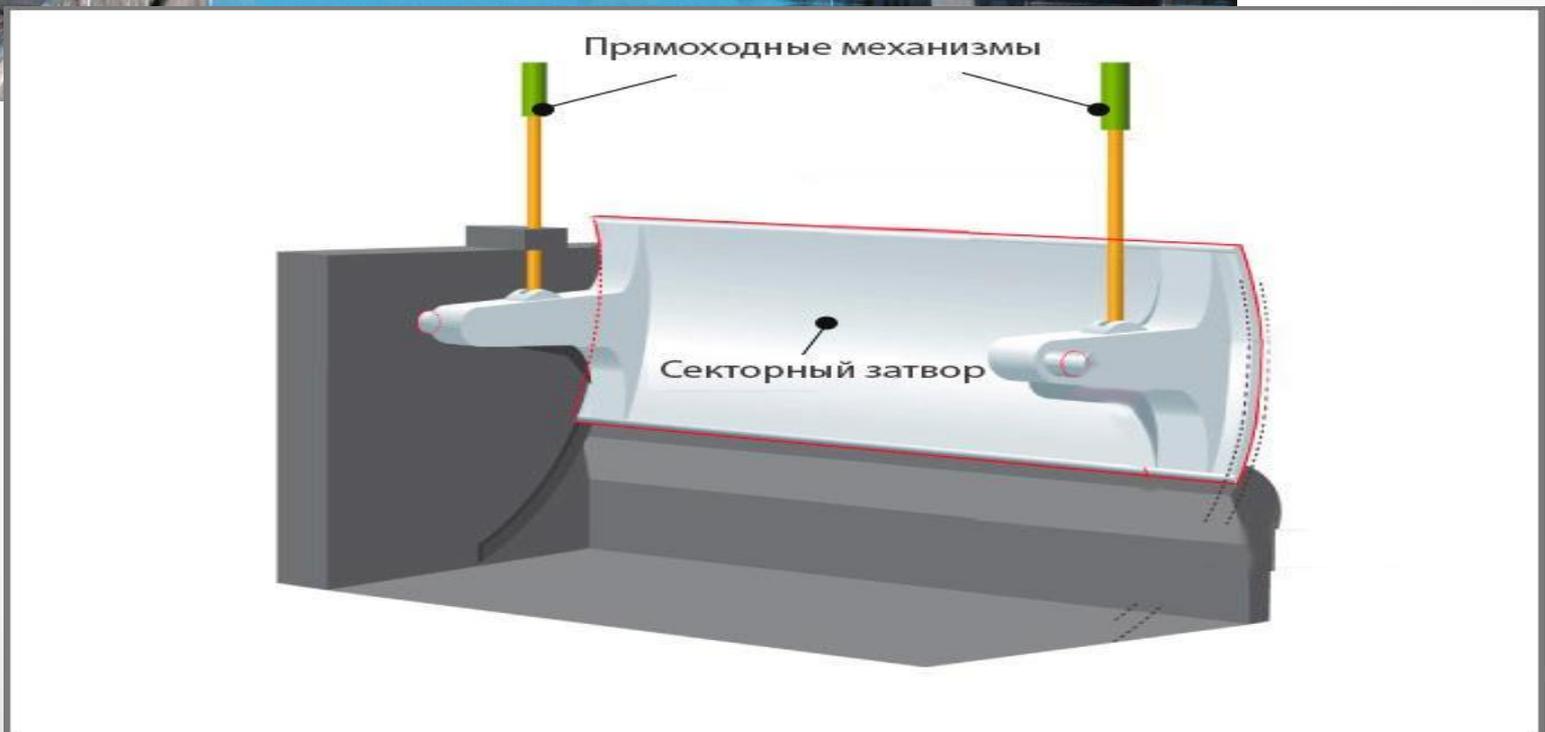
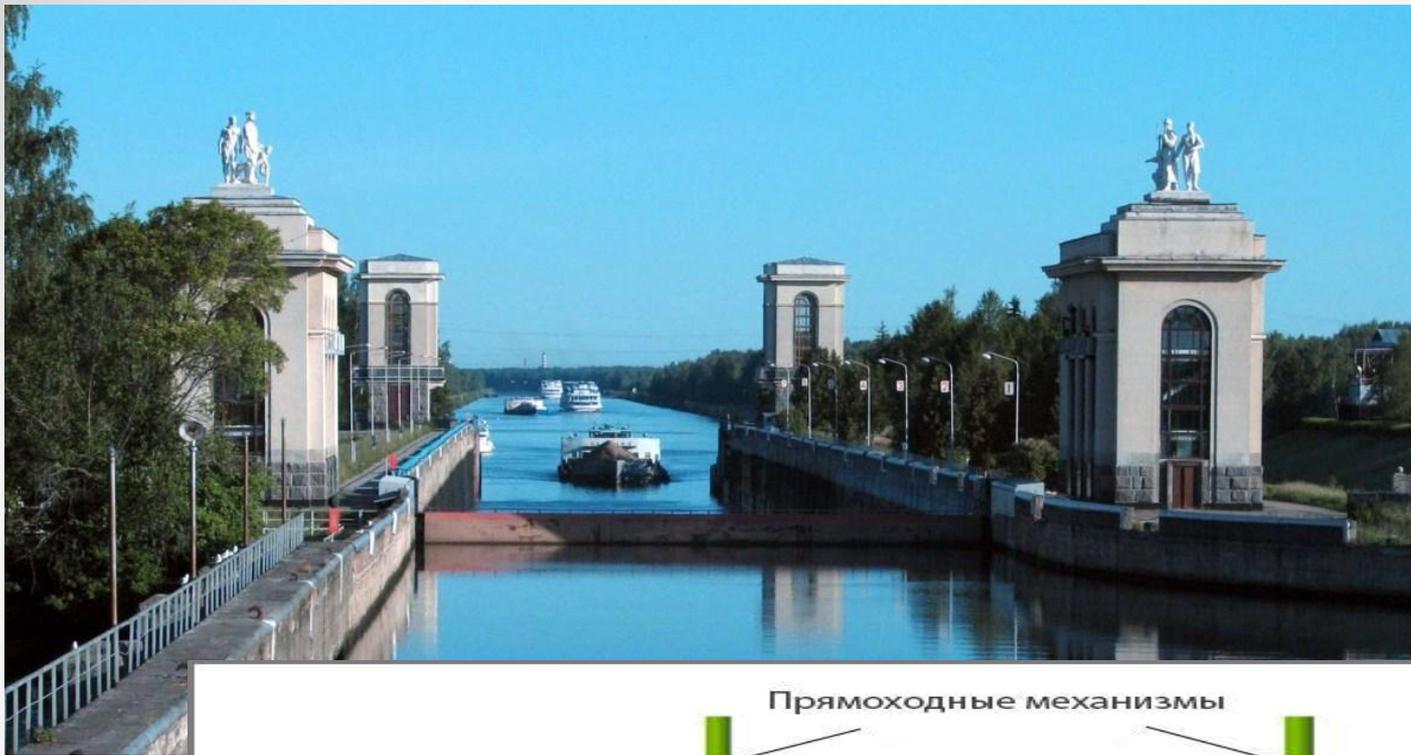




**Затвор гидротехнический.**

На петербургской дамбе  
пройдут испытания  
затворов судопропускных со-  
оружений.





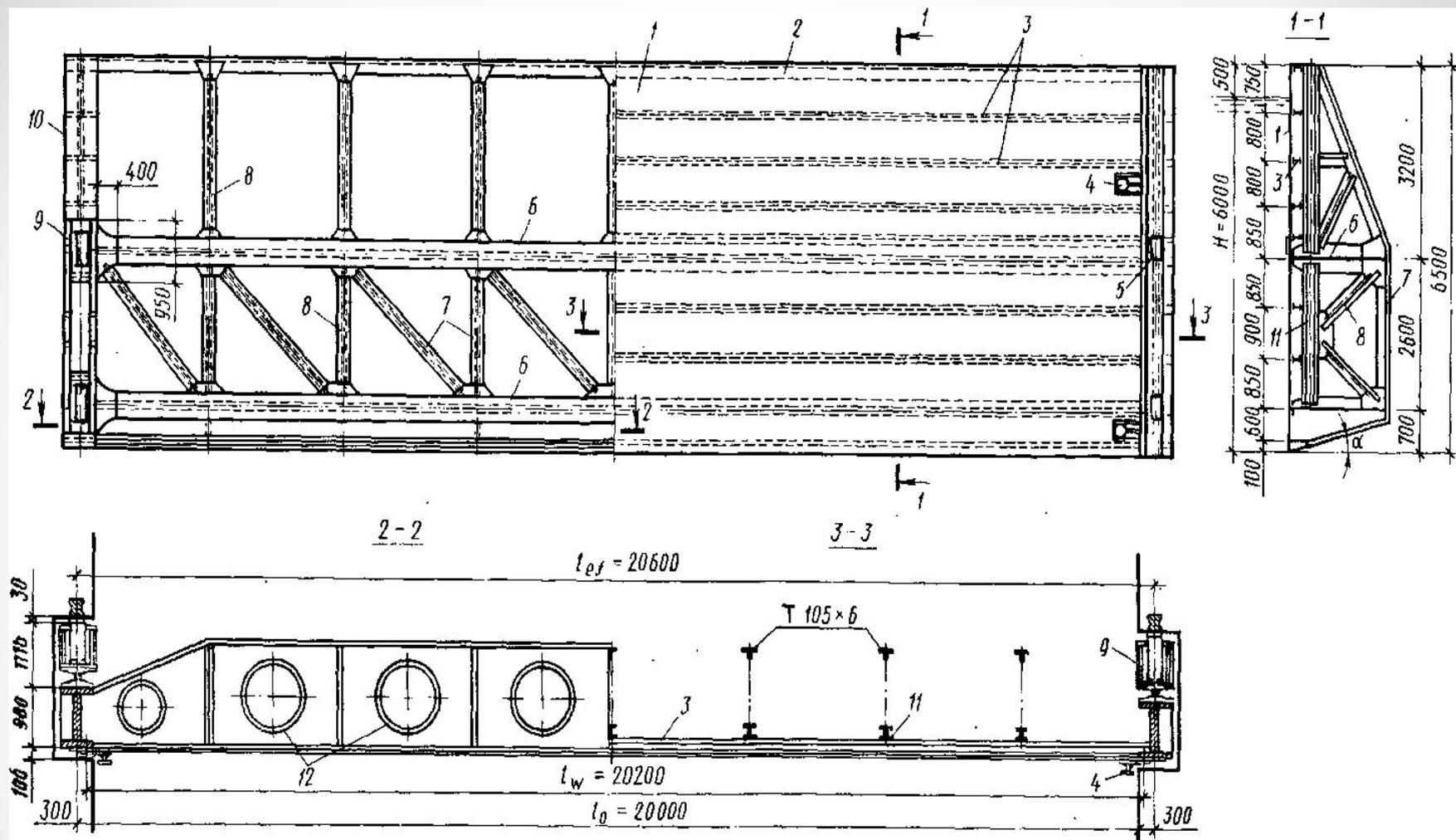


Рис. 5.2. Основные элементы и размеры плоского одиночного поверхностного затвора:

1 — обшивка; 2 — верхняя обвязка; 3 — вспомогательная балка; 4 — боковое колесо; 5 — обратный упор; 6 — ригель; 7 — продольные связи; 8 — поперечные связи; 9 — колесная опора; 10 — опорно-концевая стойка; 11 — стойка балочной клетки; 12 — отверстия в нижнем ригеле затвора, работающего в потоке при  $\alpha \leq 30^\circ$ ; А — монтажный узел

Подвижную часть плоского затвора при пролетах более 10 м составляют следующие элементы (рис. 5.2).

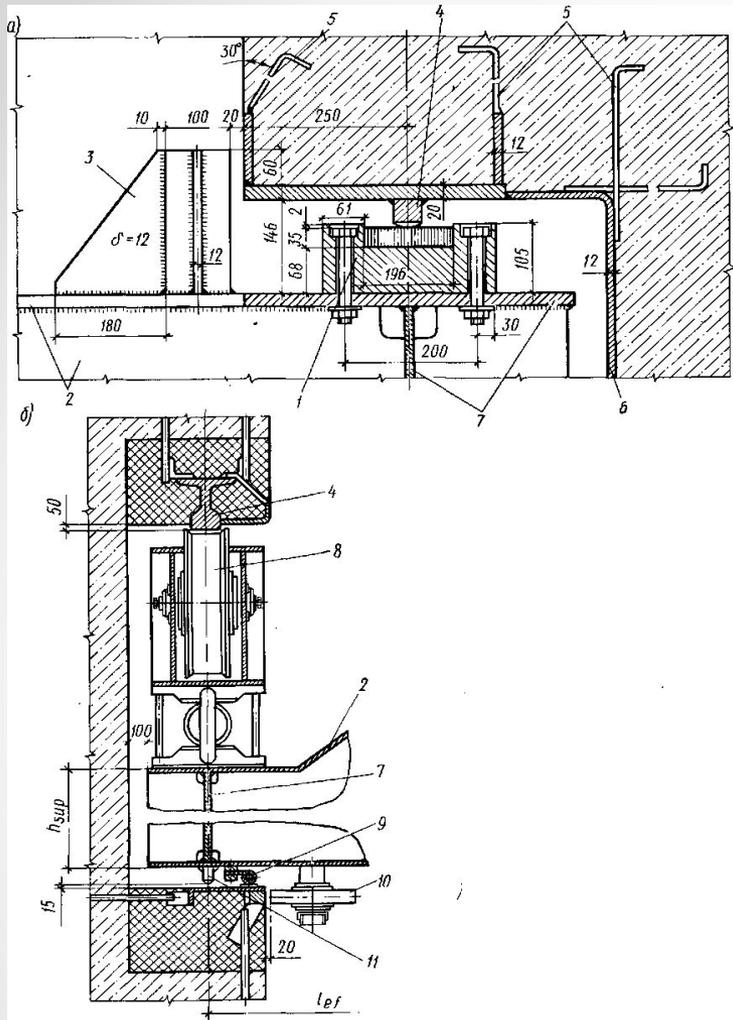
1. **Обшивка** из листовой стали, располагаемая обычно с напорной стороны затвора, препятствует течению воды, непосредственно воспринимает ее давление и передает последнее на вспомогательные **балки, стойки и ригели**.
2. **Балочная клетка** состоит из вспомогательных **балок и стоек** и передает давление воды от обшивки на ригели.
3. **Вспомогательные балки** обычно размещают горизонтально. Элементы балочной клетки изготовляют из **прокатных двутавровых балок или швеллеров**.
4. **Ригели** — основные несущие элементы затвора — передают давление воды на опорно-концевые стойки. В зависимости от длины пролета затвора и высоты напора воды ригели изготовляют из **прокатных или составных балок**. В редких случаях ригели могут быть в виде ферм.
5. **Опорно-концевые стойки** передают горизонтальные и вертикальные давления от ригелей и продольных связевых ферм на опорно-ходовые части и подвесные устройства. Опорно-концевые стойки обеспечивают взаимное расположение концов ригелей и служат для **закрепления опорно-ходовых частей**.

**Поперечные связи** — вертикальные фермы, поясами которых служат, с одной стороны, **стойки балочной клетки**, а с другой — **стойки продольной связевой фермы**.

Поперечные связи должны сохранять пространственную неизменяемость сквозного параллелепипеда, образованного **ригелями и продольными связями**, и препятствовать его скручиванию. В случаях неравномерного нагружения отдельных ригелей поперечные связи **выравнивают нагрузку** между ними.

Продольные связи между ригелями, расположенные в плоскости растянутых поясов, образуют совместно с этими поясами вертикальную ферму. Со стороны сжатых поясов роль **продольных связей** выполняет обшивка, которая совместно с элементами балочной клетки образует жесткий диск.

Продольные связи воспринимают **собственный вес затвора и другие вертикально действующие нагрузки**, передавая их на опорно-концевые стойки. В результате сохраняется неизменное взаимное расположение ригелей, они также уменьшают вертикальные деформации (провисание) горизонтально расположенных ригелей. Поперечные и продольные связи обеспечивают работу затвора как пространственной конструкции.



**Опорно-ходовые части и направляющие устройства (рис. )** служат для передачи давления воды на неподвижные части затвора, на массу бетона сооружения и для передвижения затвора. Уплотнения перекрывают зазоры между обшивкой и закладными частями затвора, препятствуя утечке воды в обход обшивки.

Подъем и опускание затворов значительных пролетов чаще всего осуществляют с помощью козловых кранов.

Рис. Опорно-ходовые части и направляющие устройства плоского затвора:  
 а — скользящая опора и армирование пазового устройства; б — колесная опора; 1 — скользящая опора; 2 — ригель; 3 — боковой упор; 4 — рабочий путь (рельс); 5 — элементы армирования; 6 — облицовка паза; 7 — опорно-концевая стойка; 8 — колесная опора; 9 — боковое вертикальное уплотнение; 10 — боковое колесо; 11 — обратный упор

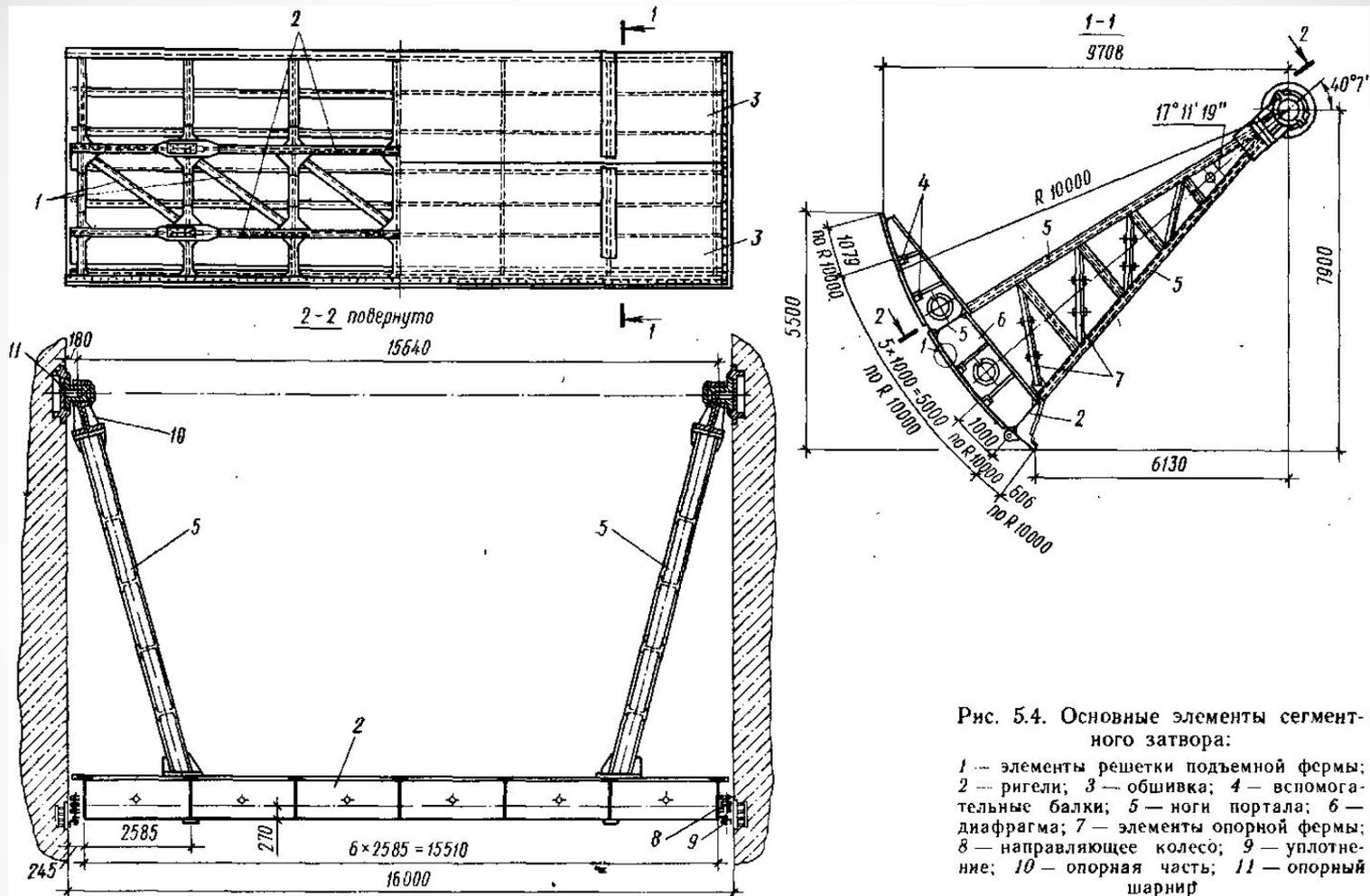


Рис. 5.4. Основные элементы сегментного затвора:

- 1 — элементы решетки подъемной фермы;
- 2 — ригели; 3 — обшивка; 4 — вспомогательные балки; 5 — ноги портала; 6 — диафрагма; 7 — элементы опорной фермы;
- 8 — направляющее колесо; 9 — уплотнение; 10 — опорная часть; 11 — опорный шарнир

Порталы, состоящие из ригелей и ног, воспринимают все давление на затвор и передают его на опорные части. Кроме работы в горизонтальной плоскости от давления воды пояса ригелей порталов работают и в вертикальной плоскости — в системе подъемных (весовых) ферм, поясами которых они являются.

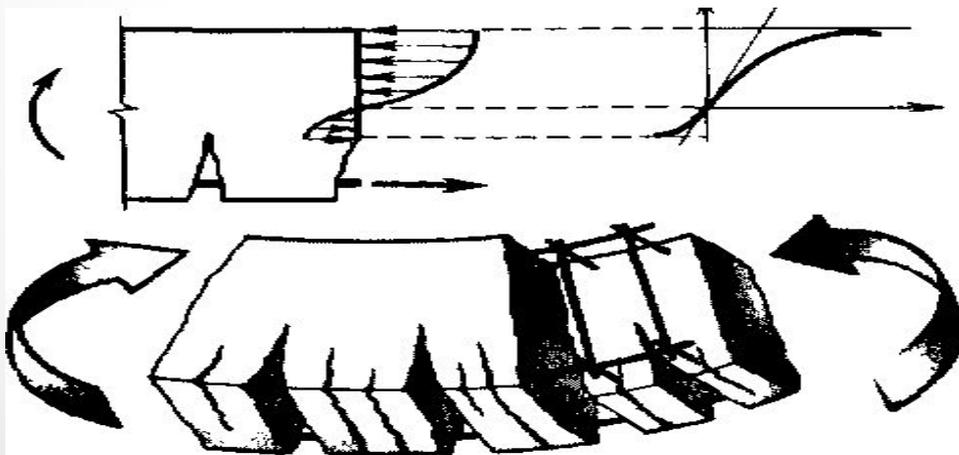
# ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЖЕЛЕЗОБЕТОНЕ

**Железобетон** - комплексный строительный материал, состоящий из бетона и стали, которые **работают совместно как одно целое** при силовых воздействиях.

Бетон, как любой каменный материал, характеризуется **высоким сопротивлением при сжатии** и низким (в 10...20 раз меньше — **при растяжении**).

Сталь одинаково хорошо сопротивляется как растяжению, так и сжатию. Эти особенности материалов и используются в железобетоне.

Бетонная балка (рис. а), испытывающая при изгибе растяжение ниже нейтральной оси и сжатие выше нее, имеет низкую несущую способность вследствие слабого сопротивления бетона растяжению. При этом прочность бетона в сжатой зоне используется не полностью.



Железобетонные конструкции, усиленные в растянутой зоне арматурой, обладают значительно более высокой несущей способностью. Так, несущая способность железобетонной балки с уложенной внизу арматурой в 10...20 раз больше, чем несущая способность бетонной балки таких же размеров. При этом прочность бетона в сжатой зоне балки используется полностью.

В качестве арматуры применяют стальные стержни, проволоки, прокатные профили

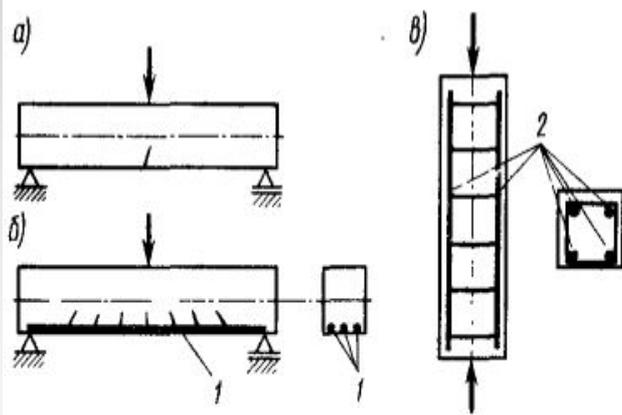


Рис. 14.1. Схемы элементов под нагрузкой:  
1 — растянутая арматура; 2 — сжатая арматура

Конструкции армируют при их работе на *растяжение и изгиб, на сжатие* (рис. 14.1, в).

Сталь имеет высокое сопротивление растяжению и сжатию, включение ее в сжатые элементы значительно повышает их несущую способность.

Совместная работа таких различных по свойствам материалов, как бетон и сталь, обеспечивается следующими факторами:

1) *сцеплением арматуры с бетоном*, возникающим при твердении бетонной смеси; благодаря сцеплению оба материала деформируются совместно; 2) *близкими по значению коэффициентами линейных температурных деформаций*, что исключает появление начальных напряжений в материалах и проскальзывание арматуры в бетоне при изменениях температуры до  $100^{\circ}\text{C}$

3) надежной защитой стали, заключенной в плотный бетон от коррозии, непосредственного действия огня и механических повреждений.

Особенностью железобетонных конструкций является **возможность образования трещин в растянутой зоне** при действии внешних нагрузок.

Раскрытие этих трещин во многих конструкциях в стадии эксплуатации невелико (0,1...0,4 мм) и не вызывает коррозии арматуры или нарушения нормальной работы конструкции. Но имеются конструкции, в которых **образование трещин недопустимо** (напорные трубопроводы, лотки, резервуары и т.п.).

В этом случае **те зоны элемента**, в которых под действием эксплуатационных нагрузок **появляются растягивающие усилия, заранее** (до приложения внешних нагрузок) **подвергают интенсивному обжатию путем предварительного натяжения арматуры.**

Такие конструкции называют **предварительно напряженными**. Предварительное обжатие конструкций выполняют в основном двумя способами:

- натяжением арматуры на упоры (до бетонирования) и
- на бетон (после бетонирования).

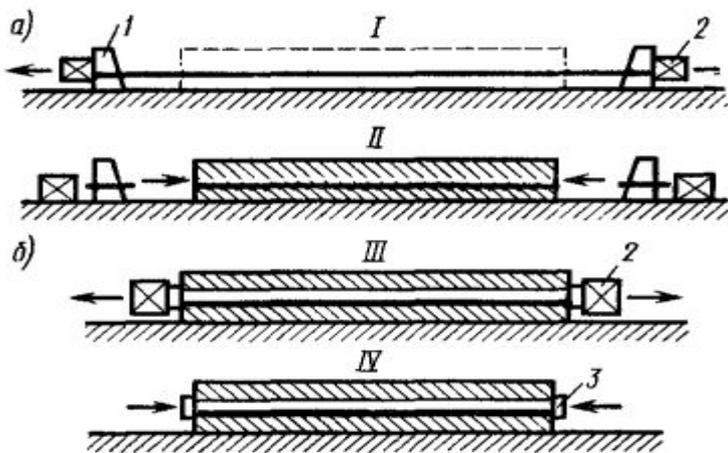


Рис. 14.2. Способы создания предварительного напряжения:

*a* — натяжение на упоры; *б* — натяжение на бетон; *I* — натяжение арматуры и бетонирование элемента; *II*, *IV* — готовый элемент; *III* — элемент во время натяжения арматуры; *1* — упор; *2* — домкрат; *3* — анкер

закрепляют на упорах или торцах формы (рис. 14.2, а). Затем бетонировать элемент. После приобретения бетоном необходимой прочности для восприятия сил предварительного обжатия арматуру освобождают от упоров и она, стремясь укоротиться, сжимает бетон. Передача усилия на бетон происходит благодаря сцеплению между арматурой и бетоном, а также посредством специальных анкерных устройств, находящихся в бетоне конструкции, если сцепления недостаточно.

Во втором случае изготавливают бетонный или слабоармированный элемент с каналами (рис. 14.2, б). При достижении бетоном требуемой передаточной прочности в каналы заводят арматуру, натягивают ее с упором натяжного приспособления на торец элемента и заанкеривают. Таким образом бетон оказывается обжатым. Для создания сцепления арматуры с бетоном в каналы инъецируют цементный раствор.

Если напрягаемая арматура располагается на наружной поверхности элемента (кольцевая арматура трубопроводов, резервуаров и т. п.), то навивка ее с одновременным обжатием бетона производится специальными навивочными машинами. После натяжения арматуры на поверхность элемента наносят торкретированием защитный слой бетона.

*Основное достоинство предварительно напряженных конструкций — высокая трещиностойкость.*

При загрузении предварительно напряженного элемента внешней нагрузкой в бетоне растянутой зоны погашаются предварительно созданные сжимающие напряжения и только после этого возникают растягивающие напряжения. Чем выше прочность бетона и стали, тем большее предварительное обжатие можно создать в элементе.

Применение высокопрочных материалов позволяет сократить расход арматуры на 30...70% по сравнению с ненапрягаемым железобетоном.

Расход бетона и масса конструкции при этом также снижаются.

*Высокая трещиностойкость* предварительно напряженных конструкций *повышает их жесткость, водонепроницаемость, морозостойкость, сопротивление динамическим нагрузкам, долговечность.*

К недостаткам предварительно напряженного железобетона следует отнести значительную трудоемкость изготовления конструкций, необходимость в специальном оборудовании и высокой квалификации рабочих.

# ВИДЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Железобетонные конструкции бывают **сборными, монолитными и сборно-монолитными**.

**Сборные конструкции** наиболее распространены. При изготовлении сборных конструкций в заводских условиях можно широко применять наиболее прогрессивную технологию приготовления, укладки и обработки бетонной смеси, автоматизировать производство.

**Монолитные конструкции** широко применяют в сооружениях, (гидротехнические сооружения, тяжелые фундаменты, оболочки покрытий и т.п.), а также при строительстве в отдаленных районах.

**Сборно-монолитные конструкции** - сочетание сборных элементов и монолитного бетона, укладываемого на месте строительства.

Сборные элементы выполняют **функцию опалубки для монолитного бетона**, отдельных несущих или армирующих элементов. Сборно-монолитные конструкции по сравнению со сборными отличаются большей монолитностью и более простым устройством стыков, но уступают им в индустриальности и трудоемкости. Они особенно целесообразны для массивных гидротехнических сооружений, а также в случае если конструкции необходимо придать неразрезность и жесткость.

# Классификация бетонов

**Тяжелый бетон** — это бетон плотной структуры, на цементном вяжущем и плотных крупных и мелких заполнителях. Он является наиболее распространенным в строительстве и в основном применяется для несущих железобетонных конструкций. В гидротехнических сооружениях используют только тяжелый (гидротехнический) бетон. В качестве плотных заполнителей применяют щебень из дробленых горных пород (песчаник, гранит, диабаз и др.) и природный кварцевый песок.

**Легкий бетон** (на цементном вяжущем и пористых заполнителях) применяют в несущих конструкциях зданий, мостов при сравнительно небольших нагрузках и в ограждающих конструкциях.

**Ячеистые бетоны** используют в ограждающих конструкциях, **крупнопористые** — только в бетонных конструкциях (например, дренажи и фильтры гидротехнических сооружений),

**мелкозернистые** — для заполнения швов сборных конструкций и в армоцементных конструкциях.