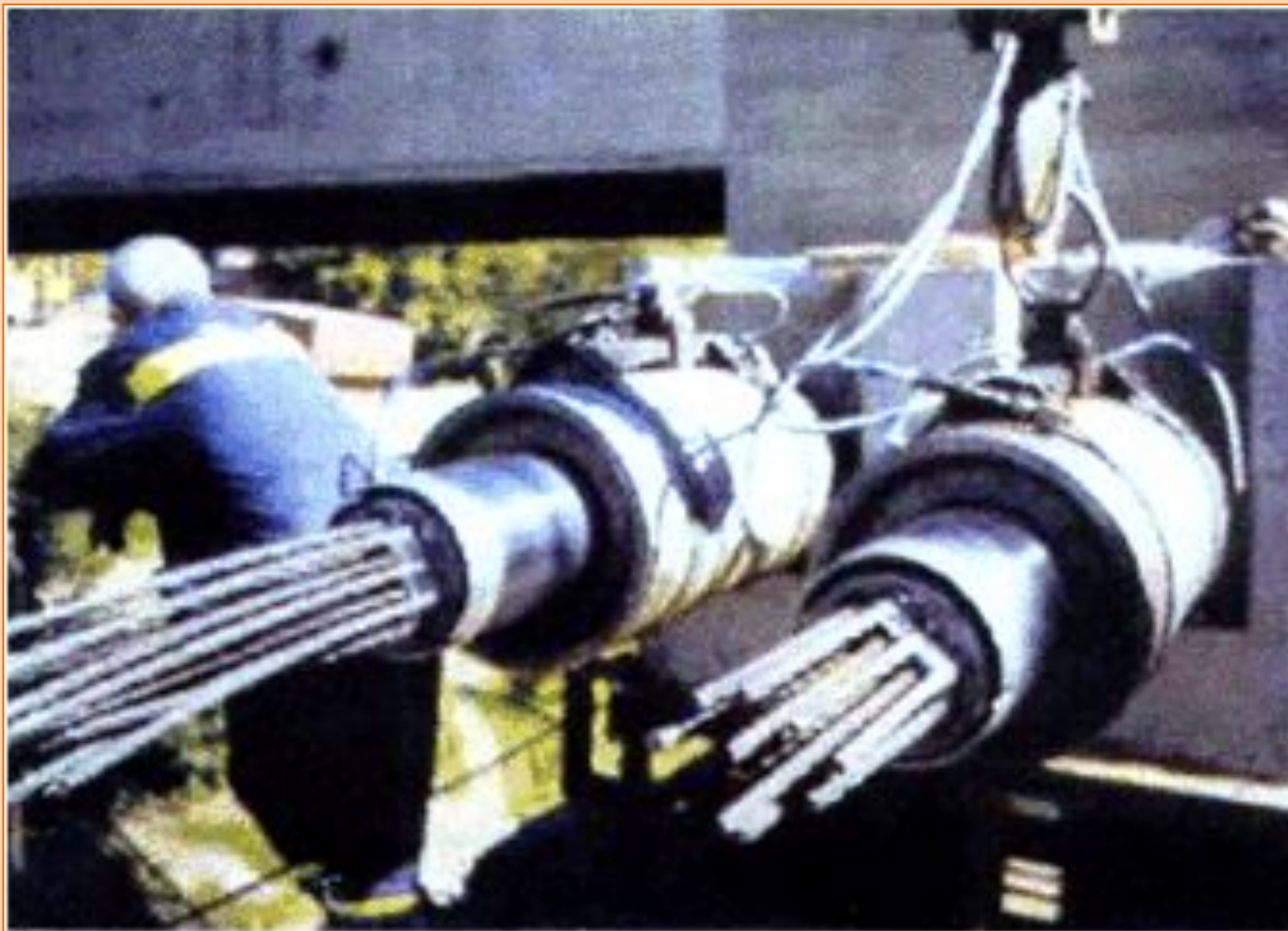


Предварительно-напряженный бетон



- Предварительно-напряженный бетон получается при совместном действии бетона и высокопрочной стали, которая предварительно напрягается. Применяемая для этого сталь называется преднапрягаемой сталью, а предназначенный для преднапряжения арматурный элемент называется напрягающим элементом.
- Предварительное напряжение возникает, когда напрягаемые элементы натягиваются и в напряженном состоянии связываются с бетоном. При этом внутри конструкции получается сжатие, которое обеспечивает сжатое состояние всего сечения конструкции. Конструкции предварительно напрягаются преимущественно в продольном направлении.
- В предварительно-напряженных бетонных конструкциях кроме напрягаемой арматуры требуется еще и арматура из обычной прутковой стали, которая называется ненапрягаемой или вспомогательной арматурой.
- В преднапряженном бетоне различаемыми признаками являются величина напрягающего усилия и техника преднапряжения.

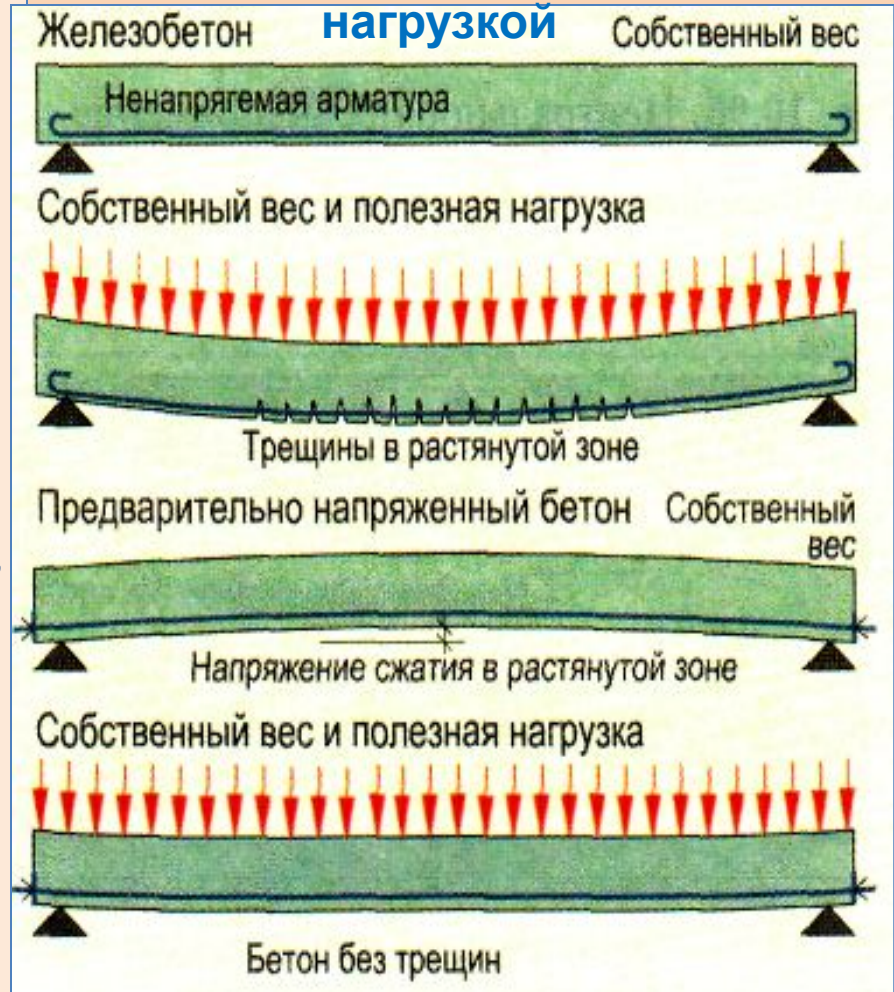
Преимущества предварительно-напряженного бетона

- Предварительно-напряженный бетон представляет собой дальнейшее развитие железобетона. **В железобетоне вследствие малой прочности бетона на растяжение могут быть только частично использованы свойства бетона и стали. В то же время в преднапряженном бетоне они используются полностью.**
- Если сравнивать между собой железобетон и преднапряженный бетон, то преднапряженный бетон более предпочтителен для конструкций больших пролетов. Экономичность предварительно-напряженного бетона основана на более высокой несущей способности его при одновременной экономии материалов. Его преимущество в строительной-технической области — это малые деформации строительных конструкций, отсутствие трещин в бетонных поверхностях и связанная с этим защита от коррозии. Без предварительного напряжения нельзя изготовить экономичные стройные большепролетные конструкции и сооружения, например, в строительстве мостов и в сборном строительстве.

Принцип предварительно-напряженного бетона

- *Принцип предварительно-напряженного бетона основан на том, чтобы в бетоне под нагрузкой создать сжатие там, где под нагрузкой должно было бы возникнуть растяжение.*
- При этом прочности строительных материалов могут быть использованы полностью. **Это позволяет применять меньшие сечения элементов и иметь меньшие нагрузки от собственного веса, чем при обычном железобетоне,** в котором на основе связи между арматурой и бетоном в растянутой зоне сечения при увеличивающемся прогибе могут возникнуть трещины.
- Под полезной нагрузкой все сечение будет работать на сжатие. Поэтому в растянутой зоне конструкции в бетоне не будет образовываться трещин.

Поведение железобетонных и предварительно-напряженных бетонных конструкций под



Виды установки напрягаемых элементов

Путем установки напрягаемого элемента в сечении можно по-разному влиять на собственное напряженное состояние конструкции.

По виду установки напрягаемых элементов различают:

внецентренное предварительное напряжение и **центральное** предварительное напряжение.

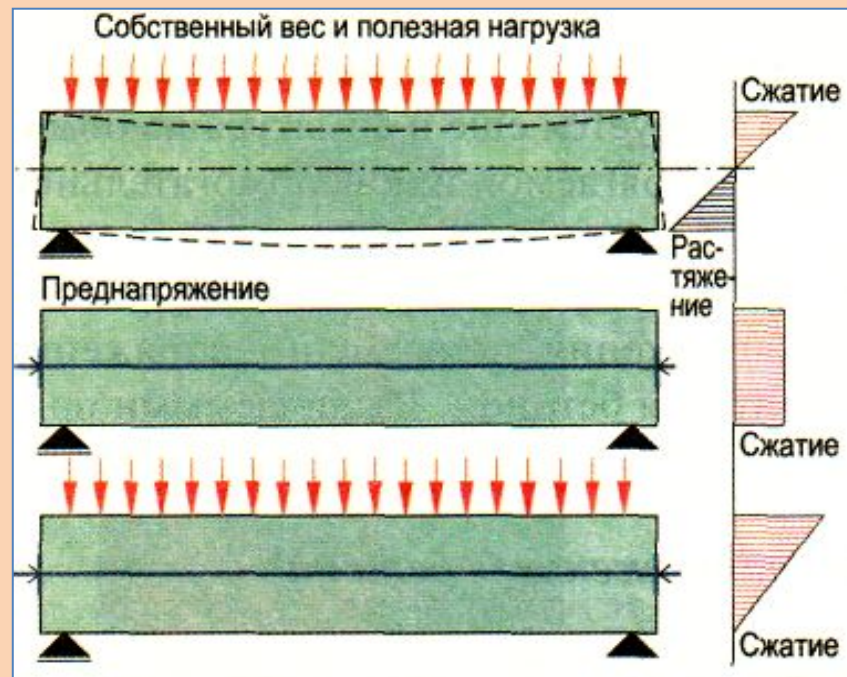
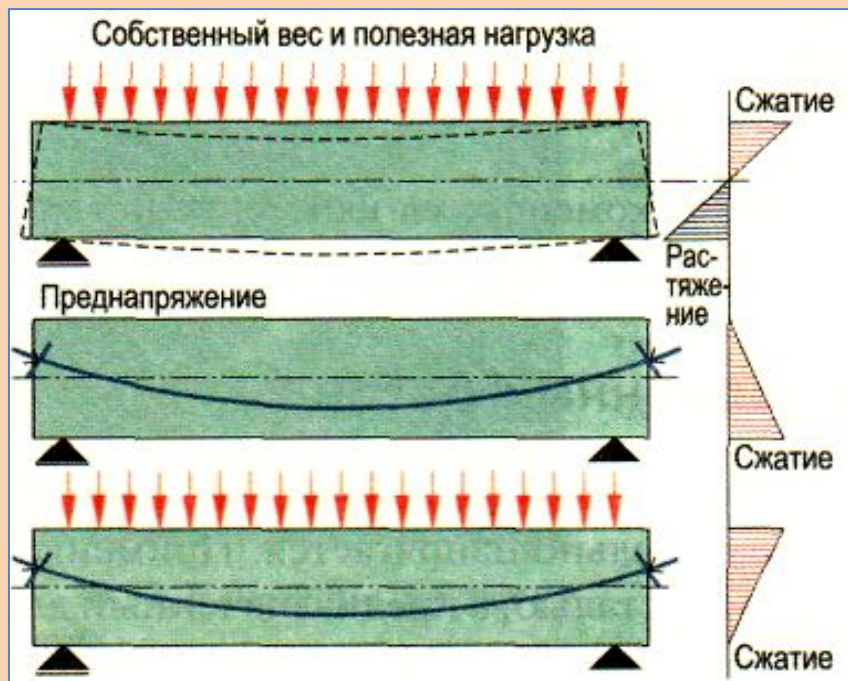
При **внецентральном преднапряжении** в растянутой зоне конструкции, работающей, например, на изгиб, возникает такое большое предварительное напряжение, которое будет равно тому растягивающему напряжению, которое могло бы иметь место в будущем при действии полезной нагрузки.

То есть, под действием этой полезной нагрузки не будет возникать растяжение, а произойдет снижение сжимающей нагрузки.

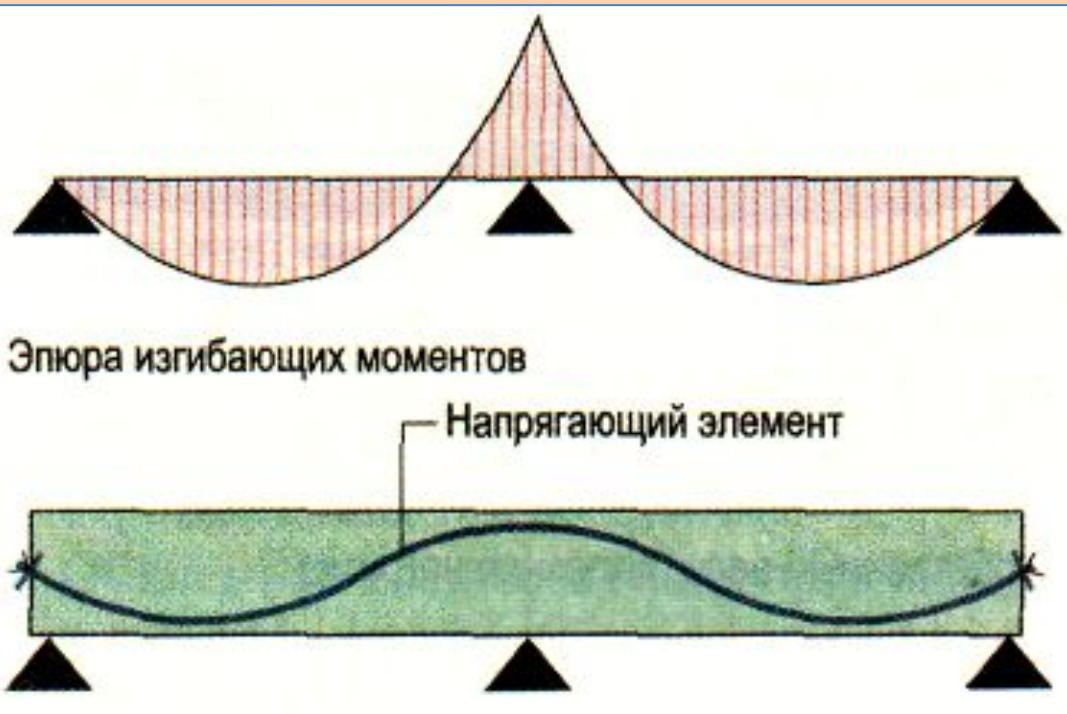
При **центральном преднапряжении** напрягаемые элементы располагаются по оси центра тяжести сечения.

При этом по всему сечению возникает равномерное усилие сжатия.

Под действием полезной нагрузки в растянутой зоне балки сжимающее усилие снижается полностью или частично, а в сжатой зоне образуется дополнительное сжимающее усилие.



Центральное преднапряжение ограничивается конструкциями, у которых моменты не имеют определенного направления, как, например, в железобетонных мачтах вследствие переменной по направлению нагрузки.



Расположение
напрягающего
элемента в
двухпролетной балке

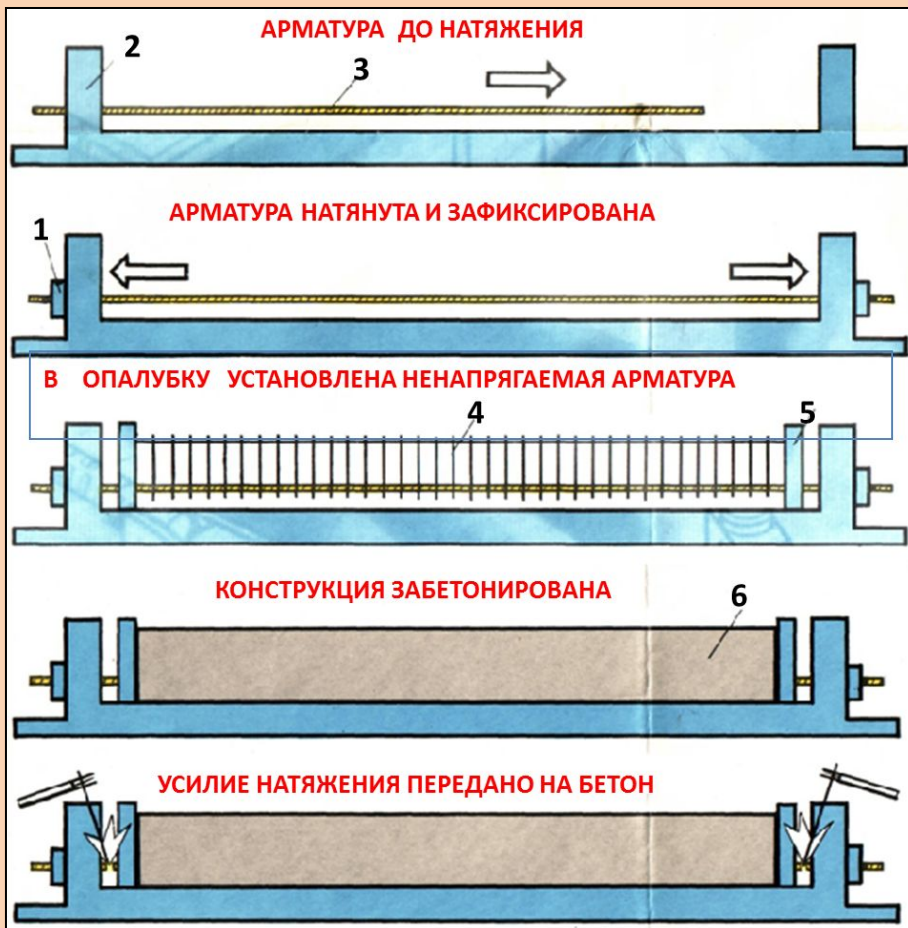
Внецентренное преднапряжение требует, в противоположность центральному, меньшее усилие напряжения и применяется, как правило, в изгибаемых элементах. Положение напряженных элементов должно соответствовать эпюре изгибающих моментов.

Виды предварительно напряженного бетона

По виду связи и по времени напряжения напрягающего элемента различают между преднапряжением с немедленной связью, преднапряжением с последующей связью, преднапряжением перед твердением бетона на натяжном стенде и преднапряжением после твердения бетона с последующей связью.

В российской практике различаются два вида предварительного напряжения, которые называются преднапряжением на бетон и преднапряжением на упоры.

НАПРЯЖЕНИЕ ПЕРЕД ТВЕРДЕНИЕМ БЕТОНА (напряжение на упоры)



Натяжным стендом называется установка, которая состоит из двух несдвигаемых упоров и напрягающего домкрата.

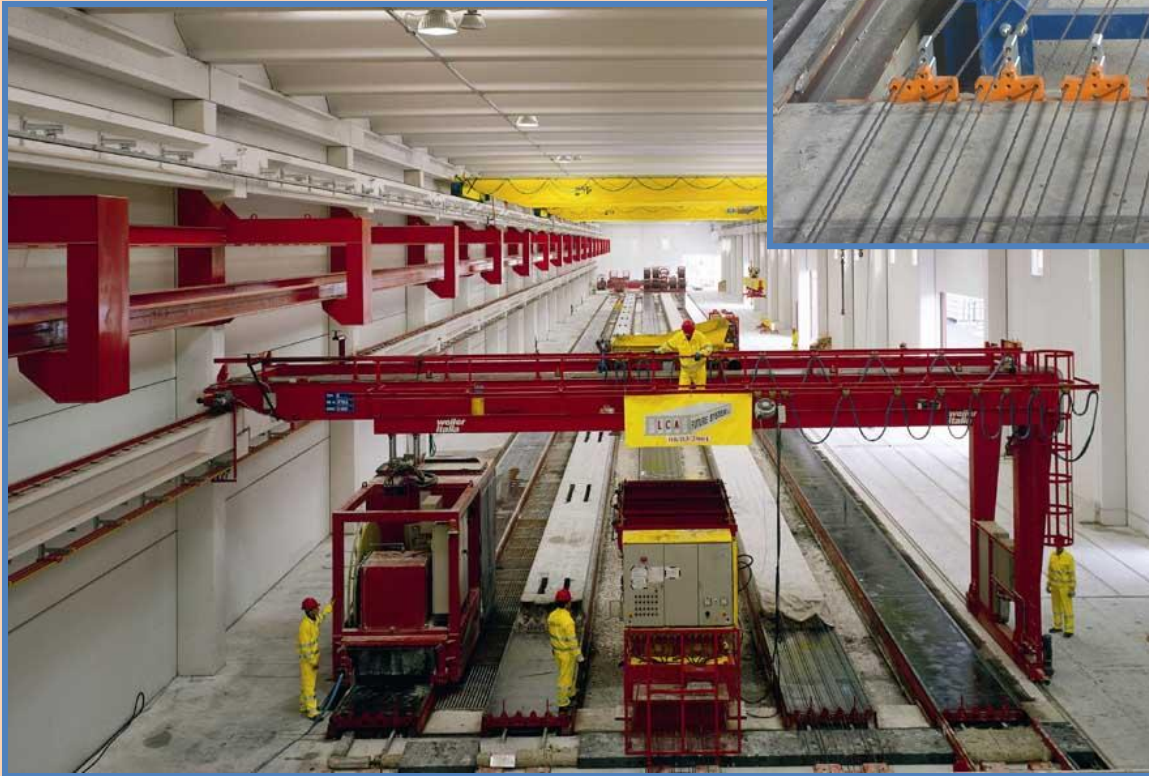
Напрягаемые элементы или напрягаемая проволока вместе с ненапрягаемой арматурой устанавливаются в опалубку и напрягаются. Они располагаются, как правило, прямолинейно. После этого можно производить бетонирование, причем между бетоном и напрягаемым элементом возникает непосредственная связь.

После твердения бетона и набора расчетной прочности анкерная проволока освобождается, при этом напрягающее усилие передается бетону.

Этот метод применяется на бетонных заводах для



- 1 — анкеры
- 2 — упор
- 3 — напрягаемая арматура
- 4 — ненапрягаемая арматура
- 5 — опалубка (форма)
- 6 — бетонная смесь



Этот метод применяется, как правило, для изготовления предварительно напряженных конструкций на строительной площадке. Напрягающие элементы прокладываются в специальных трубах, служащих каналами скольжения.

После этого можно бетонировать. Способ работы при установке напрягающих элементов зависит от условий на стройплощадке и от положения напрягающего элемента. Более короткие напрягающие элементы могут устанавливаться вместе с ненапрягаемой арматурой, а длинные напрягающие

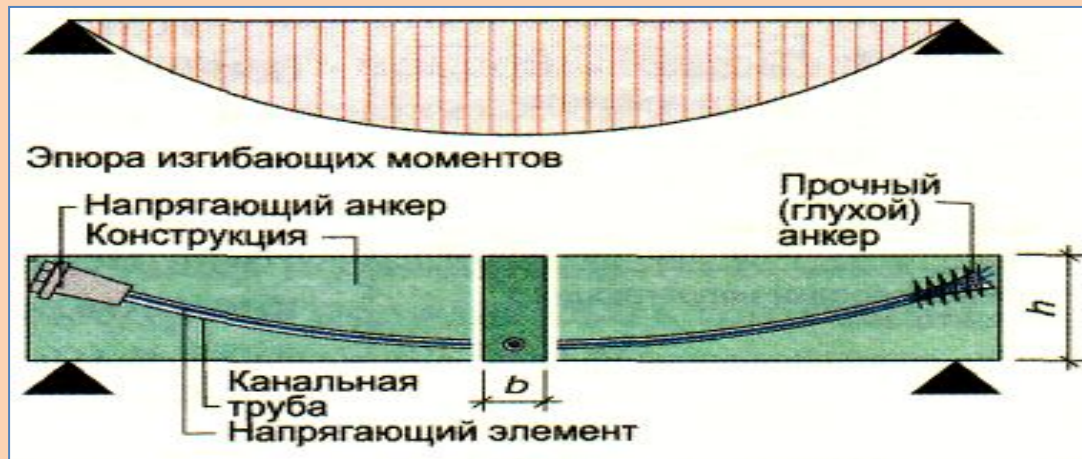


Кожуховая
я
труба

каналов

- Имеется возможность напрягающую арматуру заводить в забетонированные каналы после твердения бетона.
- Когда бетон достигнет определенной прочности, напрягающие элементы с помощью гидравлических прессов натягиваются и затем закрепляются.
- После напряжения и закрепления на бетоне кожуховая труба канала запрессовывается раствором. При этом возникает связь между бетоном и напрягающим элементом.

НАПРЯЖЕНИЕ ПОСЛЕ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ СВЯЗЬЮ (НАТЯЖЕНИЕ НА ЗАТВЕРДЕВШИЙ БЕТОН)



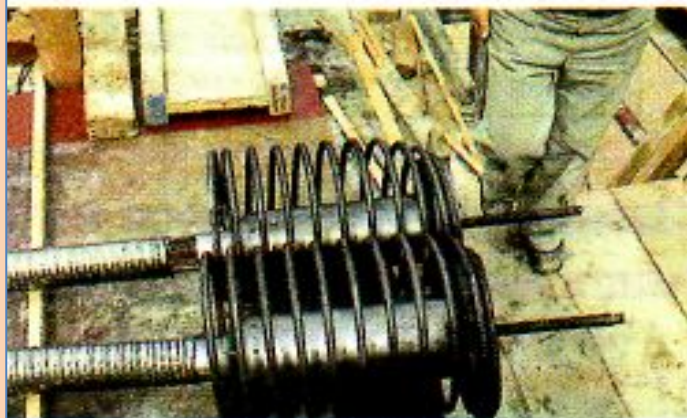
КОЖУХОВЫЕ КАНАЛЫ изготавливаются из волнистой стальной жести. Из-за волнообразной формы поверхности обеспечивается хорошая жесткость трубы и хорошая связь с бетоном конструкции, а также возможность на стыках навинчивать соединительные муфты. Кожуховые трубы должны быть плотными, чтобы внутрь не могло попасть цементное молоко при бетонировании конструкции. Они не должны сгибаться или получать другие повреждения при заполнении опалубки бетоном. Для того чтобы при последующем запрессовывании канала раствором из него мог выходить воздух, в длинные напрягающие элементы должны встраиваться трубочки для воздухоотведения.

СМ. ВИДЕО: МОНОЛИТНЫЕ перекрытия преднапряж. АНИМАЦИЯ

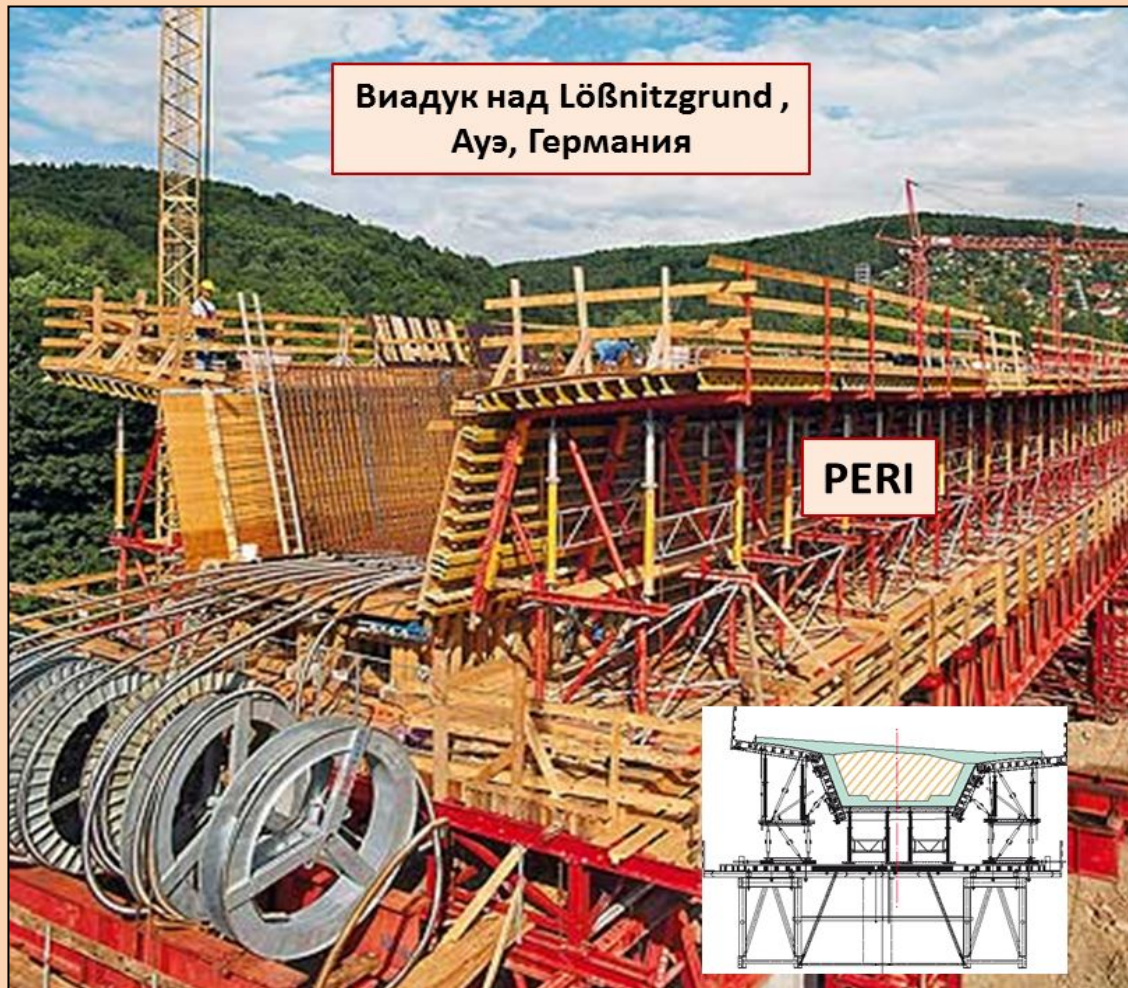
СМ. ВИДЕО: МОНОЛИТНЫЕ перекрытия преднапряж.



Укладка напрягающих элементов

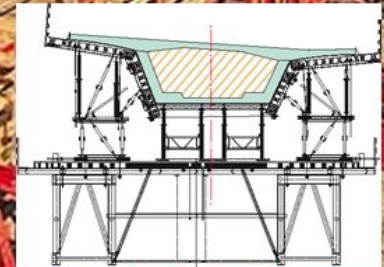


Напрягающие элементы



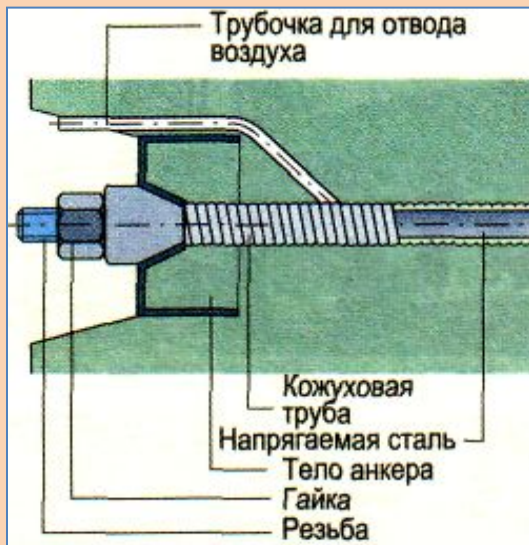
Виадук над Lößnitzgrund ,
Ауэ, Германия

PERI

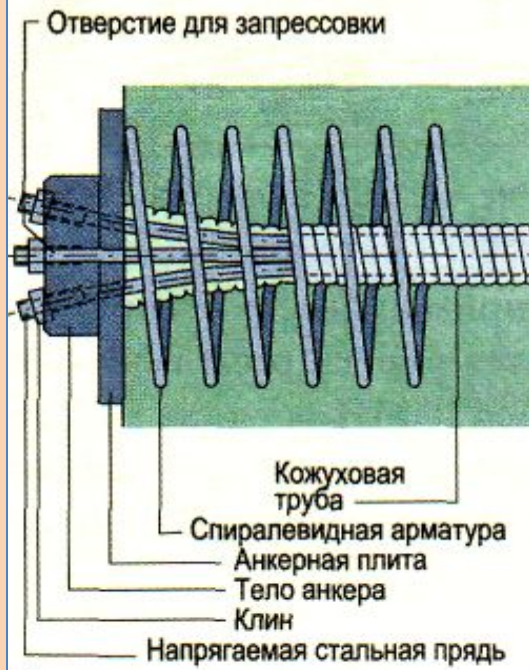


Проталкивающие устройства предназначены для «набивки» канатной арматуры в каналобразователь (кожуховой канал). В зависимости от условий и типа каната проталкивающее устройство может быть снабжено различными типами роликов (металл, пластик, резина).





Заанкеривание на резьбе



Клиновидное заанкеривание

Напрягающие анкеры (напрягающие головки), состоят, как правило, из анкерной плиты и тела анкера. Анкерная плита закрывает со стороны бетона через переходный штуцер кожуховую трубу канала. Тело анкера устроено таким образом, что концы напрягаемой арматуры после натяжения могут удерживаться. В случае пучковых напрягающих элементов анкерная плита имеет приспособление для распирания напрягаемой стали.

Часто применяемые приспособления для заанкеривания — это резьбовое заанкеривание, заанкеривание расклиниванием и петлевое заанкеривание. **Заанкеривание при больших усилиях напряжения требует применение спирально-навивной арматуры в районе передачи усилий.** При этом усилия распределяются и повышается связь арматуры с бетоном.

Под предварительным напряжением понимают передачу напрягающего усилия и заанкеривание концов стержней через напрягающий анкер на затвердевшем бетоне.

Предварительное напряжение в преднапряженном бетоне с последующей связью может происходить только тогда, когда бетон приобретет определенную прочность.

Преднапряжение передается по определенной программе. О процессе

Для обеспечения обжатия бетона применяемая арматурная сталь должна находиться в пределах упругих деформаций и не превышать 85—90% предела текучести стали, а для углеродистых сталей, не имеющих четко выраженного предела текучести, — 65—70% предела прочности на разрыв.

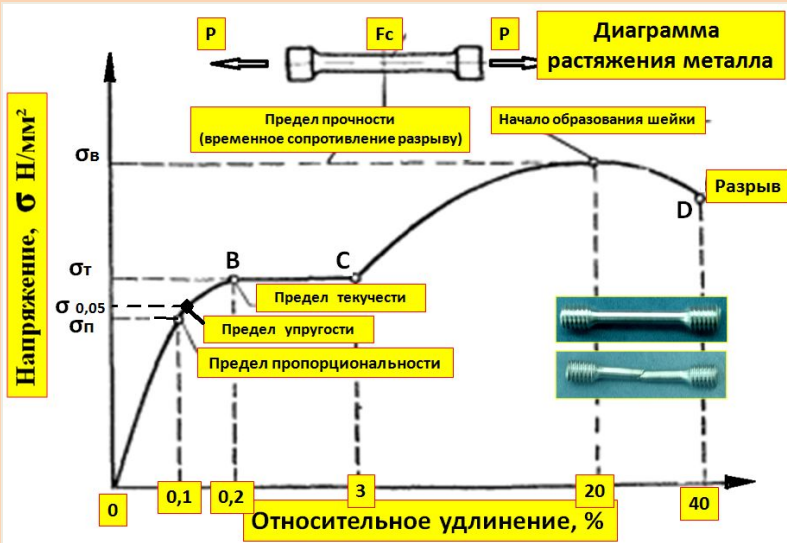
Величину натяжения арматуры необходимо тщательно контролировать, так как чрезмерное натяжение арматуры может привести к обрыву стержней или появлению трещин в сжатой зоне железобетонного изделия.

Микропроцессорный прибор «ЭИН – МГ4» предназначен для оперативного производственного контроля предварительного напряжения в арматуре ЖБКий частотным методом.

Прибор автоматически выполняет расчеты заданного удлинения арматуры и корректировки расстояния между анкерными головками.

В процессе измерений прибор автоматически производит несколько замеров частоты колебаний арматуры, сравнивая их между собой. Отбирает достоверную величину и преобразует ее в механическое напряжение в соответствии с алгоритмом вычислений. Индикация результата измерения – цифровая, в Мпа.





Характеристики прочности:

- предел пропорциональности,
- предел текучести,
- предел прочности (временное сопротивление разрыву),
- истинное сопротивление разрыву.

Характеристики пластичности:

- относительное остаточное удлинение,

σ_k – **предел пропорциональности** – напряжение, превышение которого приводит к отклонению от закона Гука.

$\sigma_{0,05}$ – **предел упругости** – напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,05%.

σ_t – **предел текучести** – напряжение, при котором происходит рост деформаций при постоянной нагрузке.

Протяженность площадки текучести низкоуглеродистых и некоторых низколегированных сталей составляет 1,5 – 2,5%. Площадка текучести свойственна сталям с содержанием углерода 0,1-0,3%.

$\sigma_{0,2}$ – **условный предел текучести**. Иногда явной площадки текучести на диаграмме не наблюдается, тогда определяется условный предел текучести, при котором остаточные деформации составляют ≈0,2%.

σ_b – **предел прочности (временное сопротивление разрыву)** – напряжение, соответствующее максимальной нагрузке в момент начала образования шейки;

σ_r – истинное сопротивление разрыву. $\sigma_r^k = P_p / F_{ш}$, где $F_{ш}$ – площадь сечения "шейки" в месте разрыва.

КЛАССИФИКАЦИЯ АРМАТУРНОЙ СТАЛИ

Вид арматурной стали	Название	Класс	Вид поставки
	Стержневая горячекатаная гладкая	A-I (A240)	Ø 6...12мм в бунтах (мотках) Ø 10...40мм – в прутках
	Стержневая горячекатаная периодического профиля	A-II (A300)	Ø 10...12мм в бунтах Ø 10...80мм – в прутках
		Ac-II (Ac300)	Ø 10...12мм в бунтах Ø 10...40мм – в прутках
		A-III (A400), A-IV (A600) A-V (A800), A-VI (A1000)	A-III: Ø 6...10мм в мотках Ø 10...40мм – в прутках
		A500СП	Ø 10...28мм (до 40мм)
	Проволока обыкновенная гладкая	B-I	Ø 3, 4, 5мм в мотках (бунтах)
	Проволока обыкновенная периодического профиля	Bp-I	Ø 3, 4, 5мм в мотках (бунтах)
	Проволока высокопрочная гладкая	B-II	Ø 3...8 мм в мотках (бунтах)
	Проволока высокопрочная периодического профиля	Bp-II	Ø 3...8 мм в мотках (бунтах)
	Арматурные стальные канаты 7-ми проволочные	K-7	в бухтах
	Арматурные стальные канаты 19-ти проволочные	K-19	в бухтах

Нагрев свыше 400°C приводит к резкому падению предела текучести и временного сопротивления, при $t = 600-650^\circ\text{C}$ наступает температурная пластичность и сталь теряет свою несущую способность.

После нагрева до 400 °C и последующего охлаждения прочность горячекатаной арматурной стали восстанавливается полностью, а прочность высокопрочной арматурной проволоки — лишь частично.

Напряженное армирование бетона:

- При натяжении арматуры электротермическим способом температура нагрева проволоки или стержня не должна превышать 400°C. В противном случае сталь теряет прочность.

Механический способ:

- Для обеспечения обжатия бетона применяемая арматурная сталь должна находиться в пределах упругих деформаций и не превышать 85—90% предела текучести стали (σ_t), а для углеродистых сталей, не имеющих четко выраженного предела текучести, — 65—70% предела прочности на разрыв (σ_b).
- Величину натяжения арматуры необходимо тщательно контролировать, так как чрезмерное натяжение арматуры может привести к обрыву стержней или появлению трещин в сжатой зоне железобетонного изделия.

ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ

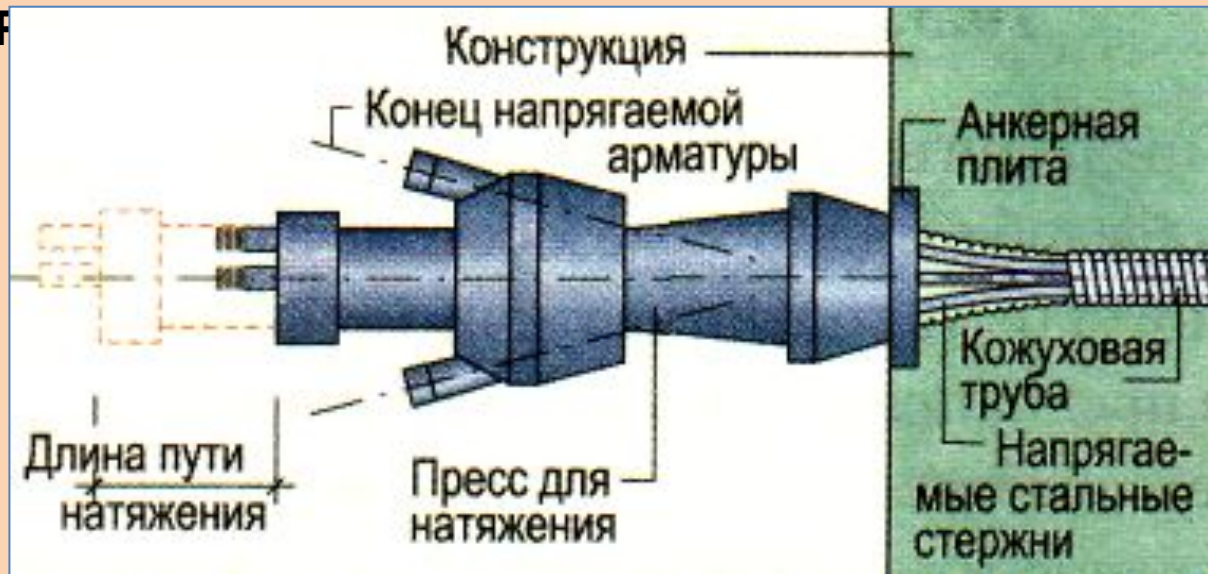
ПРЕДНАПР

Для натяжения
напрягающей
арматуры применяются

гидравлические домкраты.

При натяжении напрягающее усилие и путь натяжения должны быть точно измеряемыми.

В качестве плоскости сопротивления для домкратов служат анкерные плиты напрягающих элементов. Усилие домкрата должно быть согласовано с напрягающим усилием напрягающего элемента, видом передачи усилия на его поперечное сечение и видом его заанкеривания.



Порядок работы:

1. Уложить отрезки арматурного каната в каналы.
2. Пропустить канат через якорную станцию с установленными зажимными цапгами удержания. При этом свободные отрезки должны быть не менее длины натяжителя.
3. Свободные отрезки пропустить через натяжитель.
4. Включив насосную станцию на прямой ход, произвести натяжение при давлении, соответствующее расчетному усилию согласно таблице «усилие-давление» в паспорте.
5. Переключив насосную станцию на обратный ход, произвести возврат штока в исходное положение. При этом поджимающий цилиндр, воздействуя на цапги удержания, зафиксирует канат.
6. Цикл повторить при необходимости.
7. Снять домкрат. Зажимная цапга удерживает в анкере канат в натяженном состоянии.

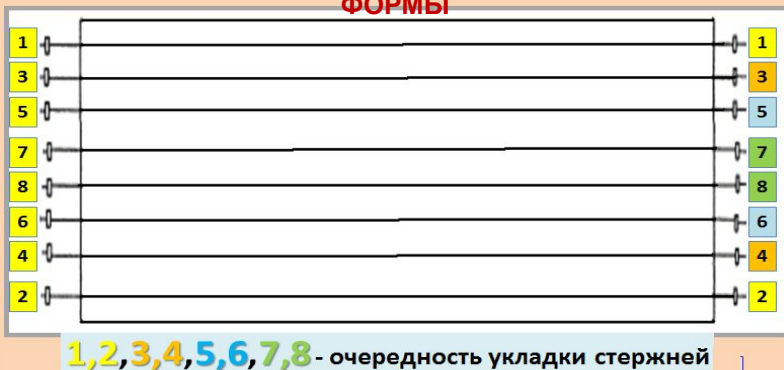
Домкраты - натяжители арматурного каната



Натяжение
арматурных канатов



СХЕМА НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ НА УПОРЫ ФОРМЫ



1,2,3,4,5,6,7,8 - очередность укладки стержней

Процесс

натяжения

Предварительное натяжение должно происходить таким образом, чтобы усилия сжатия по всему сечению бетона равномерно увеличивались. Поэтому напрягающие элементы напрягаются один за другим в последовательности, указанной в программе напряжения.

Преднапряжение производится ступенчато. Если достигнуто полное усилие преднапряжения, то концы стержней удерживаются на местах анкеровки, и после этого кожуховые трубы запрессовываются раствором.

Предназначены для укладки арматуры методом натяжения от 1 до 32 арматурных канатов К7 диаметрами 12,7 и 15,2 мм, уложенных в формах ригеля (каналообразователях) перед инъектированием (заполнением) канала бетоном при создании предварительно напряженной арматуры железобетонных конструкций.

Натяжитель представляет собой домкрат с полым штоком с гидравлическим возвратом, имеющий зажимную цангу натяжения (1), и комплектуется сменной якорной станцией (анкером) (2) с зажимной цангой удержания (3). Цанга натяжения предназначена для захвата каната при натяжении. Цанга удержания предназначена для удержания напряженного каната в якорной станции.

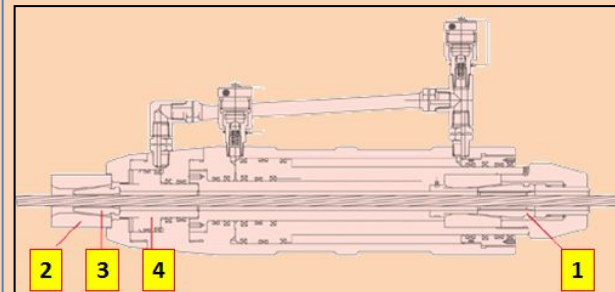
Оснащены дополнительным поджимающим цилиндром с поршнем (4), который при возврате основного поршня, воздействуя на зажимную цангу удержания в якорной станции (анкере), обеспечивает надежный захват каната.

При механическом способе натяжения арматура растягивается осевой нагрузкой, создаваемой домкратами или другими натяжными машинами. Натяжение арматуры производят в следующем порядке. Сначала арматуру натягивают до усилия, равного 50% проектного напряжения причем осматривают зажимные устройства и расположение арматуры. Затем натяжение арматуры доводят до величины, превышающей на 10% проектное натяжение, но не более 0,75 предела прочности проволоки при растяжении, и в таком состоянии выдерживают в течение 5 мин, после чего натяжение снижают до проектной величины.

Отпуск напряженной арматуры (обжатие бетона) производят после достижения бетоном изделия необходимой прочности и проверки заанкеривания концов проволоки в бетоне. Фактическая прочность бетона определяется испытанием контрольных образцов. Прочность бетона ко времени отпуска арматуры составляет обычно 70% проектной прочности.

Отпуск натяжения на стендах осуществляют постепенно в 2—3 этапа. Если постепенный отпуск натяжения невозможен, то натянутые проволоки разрезают симметрично относительно оси поперечного сечения, причем число одновременно разрезаемых проволок составляет не более 10—15% общего числа.

Домкраты-натяжители арматурного каната





Инъекционное

оборудование

Инъекционное оборудование предназначено для заполнения каналов образующих цементным раствором.

Технические

характеристики

Тип инъекционной станции	Максимальное давление (МПа)	Производительность (л/ч)	Габариты (мм) ДхШхВ	Вес (кг)
MP 2000-5	1.5	420	2000x950x1600	300
MP 4000-2	1.5	1500	2040x1040x1750	580

РАСТВОР ДЛЯ ЗАПРЕССОВКИ служит при преднапряжении с последующей связью для обеспечения связи и в качестве коррозионной защиты. Он запрессовывается в трубы каналов таким образом, чтобы пустоты между преднапрягаемой арматурой и между преднапрягаемой арматурой и стенкой канала были полностью заполнены. Это требует применения раствора, который обладает достаточной текучестью и не осаждается при запрессовывании. Затвердевший раствор должен иметь прочность не менее 30 МН/м², а также быть плотным и, кроме того, морозостойким. В качестве раствора для запрессовки применяется смесь со значением В/Ц < 0,4, с допущенными для предварительно напряженного бетона добавками.

Запрессовка должна происходить как можно быстрее по условиям защиты от коррозии. Необходимо следить за тем, чтобы температура в кожуховой трубе и в окружающем бетоне конструкции не была ниже +5 °С.

Процесс запрессовки должен проводиться с одной стороны непрерывно и без перерывов. Перед запрессовкой канал напрягаемой арматуры промывается водой и продувается сжатым воздухом.

С помощью запрессовывающего насоса раствор под небольшим давлением медленно и равномерно подается прямо из миксера или растворомешалки по насосному шлангу через запрессовочное отверстие в кожуховой канал. Запрессовочное отверстие, как правило, находится в анкерной плите напрягающего элемента. Через трубочки для удаления воздуха, которые в большинстве расположены в верхней части напрягающего элемента, можно наблюдать процесс запрессовки. Отверстия для удаления воздуха будут закрываться, когда раствор продвинулся достаточно далеко. Если раствор выходит из отверстий для удаления воздуха на противоположном конце напрягающего элемента при одинаково остающейся консистенции, то процесс запрессовки может быть окончен.



Кожуховая труба каналов

Пролетное строение моста и плита проезжей части



Уложенная в опалубку преднапрягаемая канатная арматура типа 12К7-1500 в пластиковой трубке ПНД-20Т

Заливка перекрытия легким бетоном класса В40

**Изображение
напрягающих
элементов
на
чертежах**

Вид сбоку напрягающего элемента	
Нормальное изображение	-----
Вид анкеровки напрягаемой арматуры	
Напрягаемый анкер	▷-----
Прочный (глухой) анкер	▷-----
Разрез напрягающего элемента	
Напрягающий элемент в трубе канала	○
Напряжение на стенде	+
Разрез анкеровки напрягающего элемента	
Напрягаемый анкер	⊗
Прочный (глухой) анкер	⊗



Контрольные вопросы

- 1. Принцип предварительно-напряженного бетона?**
- 2. Назовите способы создания предварительного напряжения?**
- 3. Какими способами выполняют растяжение арматуры?**
- 4. Сущность электротермического способа натяжения арматуры?**
- 5. Сущность механического способа натяжения арматуры на упоры форм?**
- 6. Сущность механического способа натяжения арматуры на упоры стендов?**
- 7. Сущность механического способа натяжения арматуры на бетон?**
- 8. Назначение спирально-навивной арматуры в районе передачи усилий?**
- 9. Преимущества предварительно-напряженного бетона?**