

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5

### Измерение усилия предварительного натяжения арматуры

**Цель работы:** практическое изучение методов оценки степени натяжения арматурных стержней.

#### 5.1. Общие сведения

Цель контроля при изготовлении предварительно напряжённой конструкции – обеспечить соответствие полученного напряжённого состояния конструкции напряжённому состоянию, заданному проектом с учётом допусков, установленных для данной конструкции техническими условиями и другими нормативными документами.

Основной операцией контроля является измерение усилия, созданного в арматуре. Оценивая результаты этого измерения теми или иными средствами, регулируют усилия в арматуре с тем, чтобы обеспечить соответствие напряжённого состояния заданному проектом и допускаемому отклонению (допуску).

Измерение силы натяжения арматуры осуществляется в процессе ее натяжения с непосредственным измерением усилия, прикладываемого к концу напрягаемого элемента (прямой метод) или после натяжения (косвенный метод).

Косвенные методы определения усилия натяжения:

- частотный метод (приборы ИНА-7, ИПН-7, АП-23, ЭИН-МГ4);
- метод поперечной оттяжки (приборы ПРДУ, ПИН-5);
- метод измерения по удлинению арматурного стержня.

#### 5.2. Описание методов определения усилия натяжения арматуры

##### 5.2.1. Частотный метод определения усилия натяжения

В основу метода положено использование зависимости между натяжением и частотой свободных поперечных колебаний натянутой струны с неподвижно закреплёнными концами. Наиболее легко возбудимой при воздействии на арматуру в середине пролёта является первая (основная) форма колебаний. Исходя из этого предположения, в методе контроля натяжения арматуры применяется зависимость:

$$f = \frac{1}{2} \cdot l \cdot \sqrt{\frac{P}{m}}, \quad (5.1)$$

где  $f$  – частота свободных (собственных) колебаний;

$l$  – свободная длина арматуры между упорами стенда;

$P$  – усилие натяжения арматуры;

$m$  – масса единицы длины стержня.

Из формулы (5.1) получаем усилие натяжения стержневой арматуры:

$$P = 4 \cdot f^2 \cdot l^2 \cdot m, \quad (5.2)$$

Стальная арматура при некоторой длине может считаться струной, тогда, установив с помощью прибора – частотомера частоту ее собственных поперечных колебаний, можно вычислить значения силы натяжения по формуле (5.2). Однако в некоторых случаях арматура по степени натяжения, модулю упругости и соотношению между длиной и диаметром должна рассматриваться как стержень. Следовательно, усилие, вычисленное по формуле (5.1), может значительно отличаться от фактического. Поэтому частотный метод имеет ограничения применимости, обусловленные параметрами натяжения струны.

Для реализации данного метода использую приборы (низкочастотные частотомеры), измеряющие собственную частоту первой формы колебаний натянутой струны (ИПН, ИНА, АП-23ПР, ЭИН-МГ4).

Измеритель периода свободных колебаний арматурных элементов АП-23ПР (Рис. 5.1) предназначен для контроля напряжения всех типов арматуры диаметром от 5 до 22мм в диапазоне длин от 1.5 до 18 м.



Рис. 5.1. Общий вид прибора АП-23ПР

Прибор выполнен на основе микропроцессорной техники. Программное обеспечение прибора рассчитано для выполнения следующих операций:

- измерение периода свободных колебаний арматурных элементов;
- расчёт напряжений в арматуре по уточнённой формуле;
- ввод данных контролируемой арматуры (длина и диаметр);
- диагностирование прибора с помощью тестов.

Современным аналогом прибора АП-23ПР является измеритель напряжений в арматуре частотным методом по ГОСТ 22362 ЭИН-МГ4 (Рис. 5.2)



Рис. 5.2. Общий вид прибора ЭИН-МГ4

Прибор имеет функции автоматического выполнения технологических расчетов:

- заданного удлинения арматуры,
- длины арматурной заготовки,
- корректировки расстояния между анкерными головками (временными анкерами).

Для пользователей, производящих несколько типов предварительно напряженных железобетонных конструкций, предусмотрена возможность установки и запоминания пяти комбинаций исходных данных (расстояние между упорами форм, диаметр и класс арматуры, проектное напряжение в арматуре). Измеритель напряжений снабжен энергонезависимой памятью результатов

измерений и эффективным двухкаскадным цифровым фильтром, обеспечивающим подавление электромагнитных помех и помех гармонического состава колебаний арматуры. В процессе измерений прибор автоматически производит несколько замеров частоты колебаний арматуры сравнивая их между собой, отбирает достоверное значение и преобразует его в механическое напряжение в соответствии с алгоритмом вычислений.

### 5.2.2. Метод поперечной оттяжки

В данном методе используется зависимость между продольным усилием  $N$  натяжения арматуры и сопротивлением ее поперечному отклонению внешней силой  $R$  (Рис. 5.3). Сопротивление  $Q$  арматуры ее отклонению состоит из двух частей:

$$Q = R_e + R_{e\alpha} = Q_e + Q_{e\alpha} \quad (5.4)$$

где  $R_e$  и  $R_{e\alpha}$  - кинематическая и изгибная составляющие сопротивления оттяжке;

$Q_e$  и  $Q_{e\alpha}$  - составляющие внешние силы, преодолевающие сопротивление оттяжке.

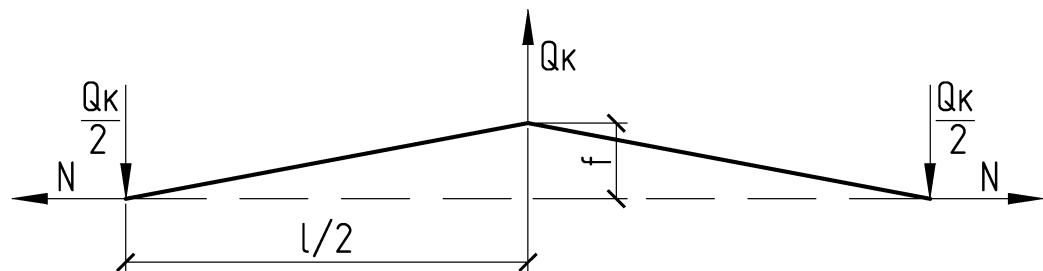


Рис. 5.3. Схема определения продольной силы методом поперечной оттяжки

Оттяжка может осуществляться на полной длине арматурных элементов или на их частях, отделяемых промежуточными опорными закреплениями. Такая схема может быть симметричной или несимметричной относительно середины базы оттяжки.

Изгибная составляющая сопротивления оттяжке арматуры  $R_{e\alpha}$  не зависит от  $N$  и поэтому снижает чувствительность накладного динамометра. Она оказывает влияние на абсолютные значения показаний приборов, реализующих рассматриваемый метод.

Если жесткостью арматуры можно пренебречь и  $Q = Q_e$ , сумма моментов внешних сил, действующих слева или справа от середины длины  $l$  относительно центра тяжести среднего сечения, будет иметь вид:

$$\frac{Q \cdot l}{4} - N \cdot f = 0 \quad (5.5)$$

откуда

$$N = \frac{Q \cdot l}{4 \cdot f} \quad (5.6)$$

Величину усилия поперечной оттяжки  $Q$  и соответствующую ей величину перемещения стержня  $f$  определяют динамометрами, например, типа ПРДУ или ПИН-5.

### **Устройство и работа прибора ПРДУ**

Действие прибора ПРДУ при измерении силы натяжения стержневой арматуры и канатов основано на упругой оттяжке арматурного элемента в середине пролета между упорами, а при измерении силы натяжения проволоки - на оттяжке ее на базе упорной рамки прибора. Деформацию пружины прибора измеряют индикатором часового типа.

Поперечно оси арматуры создается постоянное перемещение системы из двух последовательно соединенных звеньев: натянутый арматурный элемент и пружина прибора.

С увеличением силы натянутой арматуры возрастает сопротивление поперечной оттяжке и уменьшается ее перемещение, а поэтому увеличивается деформация пружины прибора, т.е. показания индикатора прибора.

Градуировочная характеристика прибора зависит от диаметра и длины арматуры при работе на базе формы и только от диаметра - при работе на базе упорной рамки.

Прибор ПРДУ состоит из корпуса, шарнира с направляющей трубкой, ходового винта с лимбом и рукояткой, пружины со сферической гайкой, натяжного крюка, индикатора, упора или упорной рамки (рис. 5.4).

При измерении силы натяжения стержневой арматуры и канатов прибор устанавливают упором на стенд, поддон или форму. Крюк захвата заводят под стержень или канат и вращением ходового винта за его рукоятку обеспечивают контакт со стержнем или канатом. Дальнейшим вращением ходового винта создают предварительную оттяжку арматуры, величину которой фиксируют индикатором.

В конце предварительной оттяжки по риске на корпусе отмечают положение лимба, жестко соединенного с ходовым винтом (боковая поверхность лимба разбита на 100 частей), и затем продолжают вращение ходового винта на несколько оборотов.

После завершения выбранного числа оборотов записывают показания индикатора. Силу натяжения арматуры определяют по градуировочной характеристике прибора.

При измерении силы натяжения арматурной проволоки диаметром 5 мм менее, упор заменяют упорной рамкой с базой 600 мм, а крюк захвата - малым крюком. Силу

натяжения проволоки определяют по градуировочной характеристике прибора при установленной рамке.

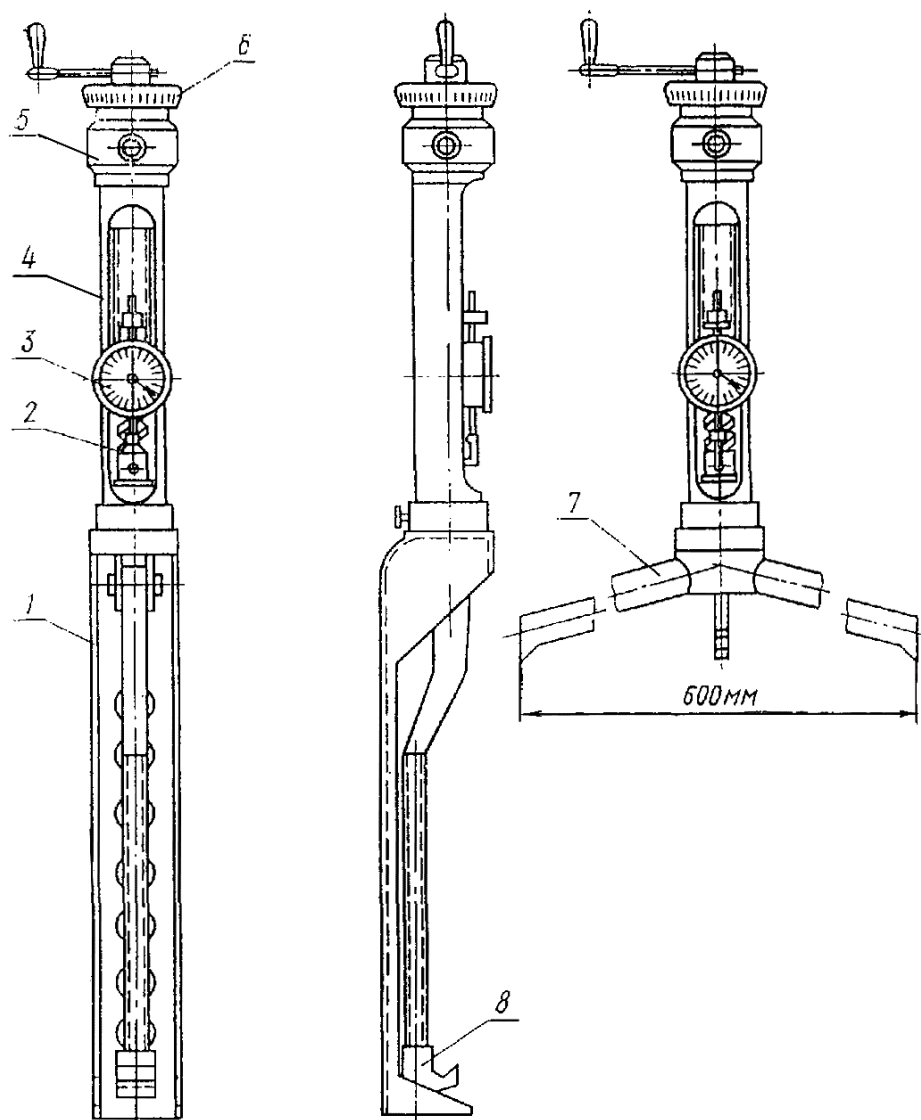


Рис. 5.4. Схема прибора ПРДУ:

1 - упор; 2 - пружина; 3 - индикатор; 4 - корпус; 5 - шарнир; 6 - лимб с ручкой; 7 - собственная база; 8 - крюк

### Устройство и работа прибора ПИН-5

Прибор состоит из рамы с упорами, эксцентрика с рычажным устройством, регулировочной гайки, упругого элемента с тензорезисторами, крючка и элементов электрической схемы, размещенных в отдельном отсеке, которые содержат усилитель и счетное устройство (рис. 5.5).

Прибор измеряет силу, необходимую для поперечного смещения натянутой арматуры на заданную величину.

Заданное поперечное смещение арматуры относительно упоров, прикрепленных к раме прибора (расстояние между упорами 600мм), создают путем перемещения ручки эксцентрика в левое положение. При этом рычаг перемещает винт регулировочной гайки на величину, зависящую от эксцентриситета эксцентрика. Необходимая для осуществления перемещения сила зависит от силы натяжения арматуры и измеряется по деформациям упругого элемента. Прибор градуируют для каждого класса и диаметра арматуры.

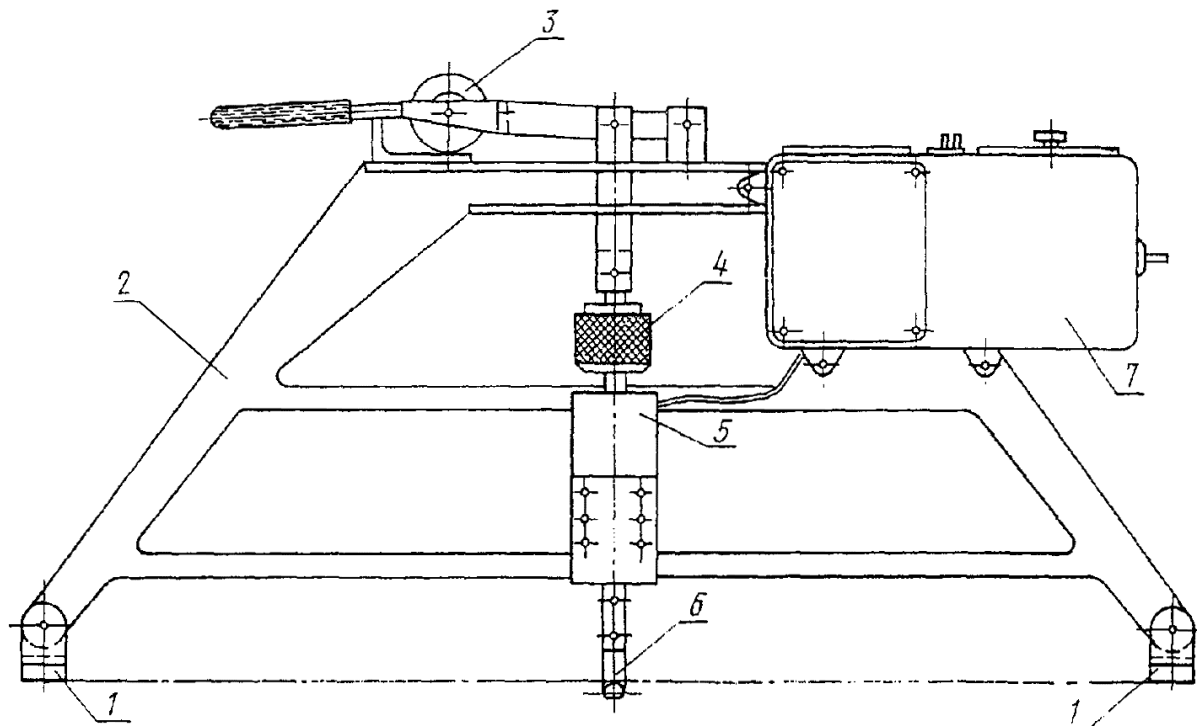


Рис. 5.5. Схема прибора ПИН-5:

1 - упоры; 2 - рама; 3 - эксцентрик; 4 - регулировочная гайка; 5 - упругий элемент с проволочными тензорезисторами (размещается под кожухом); 6 - крючок; 7 - коробка с элементами электрической схемы.

### 5.2.3. Контроль натяжения арматуры по её удлинению

Оценка предварительного напряжения  $\sigma_{SP}$  в арматуре по ее относительному удлинению  $\varepsilon_s$  в упругой стадии деформирования основана на зависимости:

$$\sigma_{SP} = \varepsilon_s \cdot E_s \quad (5.7)$$

где  $E_s$  - модуль упругости арматуры.

### Порядок выполнения работы

1. Выпрямить арматурный элемент, создавая усилие начального натяжения  $\sigma_{SP1}$  в пределах 5-10% от полного усилия ( $\sigma_{SP1}$  определяется путём динамометрирования концевое усилие);

2. Снять первый отсчёт по измерительному прибору – тензомеру ( $\varepsilon_{S1}$ );

3. Продолжить натяжение до получения заранее подсчитанного по формуле (5.7) удлинения с учетом деформации, соответствующей:

$$\sigma_{SP1} = \dot{A}_S \cdot D_1 \quad (5.8)$$

$$\varepsilon_{SP1} = \frac{\sigma_{SP1}}{E_S} \quad (5.9)$$

$$\varepsilon_S = \varepsilon_{S1} + \Delta\varepsilon_S \quad (5.10)$$

4. Подсчитать контролируемое напряжение:

$$\sigma_{con} = \sigma_{SP1} + \varepsilon_S \cdot E_S \quad (5.11)$$

По результатам выполненной работы сопоставить величины предварительного напряжения арматуры, определённые рассмотренными методами.