

**ГСИ. Усилия растяжения и сжатия в арматуре железобетонных конструкций. Методика выполнения измерений преобразователями типа ПСАС-ТМ-40\***

**МИ 2661-2001. ГСИ. Усилия растяжения и сжатия в арматуре железобетонных конструкций. Методика выполнения измерений преобразователями типа ПСАС-ТМ-40\***

### **СВИДЕТЕЛЬСТВО № 001-103-00**

#### **об аттестации МВИ**

Методика выполнения измерений усилий растяжения и сжатия в арматуре железобетонных конструкций, разработанная ИСБ "Надежность" и отделом 300 ГП "ВНИИФТРИ", изложенная в МИ 2661 "Рекомендация. ГСИ. Усилия растяжения и сжатия в арматуре железобетонных конструкций. Методика выполнения измерений преобразователями силы типа ПСАС-ТМ-40\*\*", аттестована в соответствии с ГОСТ Р 8.563-96.

Аттестация осуществлена по результатам метрологической экспертизы материалов по разработке МВИ и анализа результатов контрольных измерений.

В результате аттестации МВИ установлено, что МВИ соответствует предъявленным к ней метрологическим требованиям и обеспечивает измерение усилий растяжения и сжатия в арматуре железобетонных конструкций с погрешностью, не превышающей 5-10 % при температуре арматуры от минус 30 до + 130 °С.

ГП "Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических  
и радиотехнических измерений" Госстандарта России (ГП ВНИИФТРИ)

**Рекомендация**  
**Государственная система обеспечения единства измерений**  
**Усилия растяжения и сжатия в арматуре железобетонных конструкций**  
**Методика выполнения измерений преобразователями силы типа ПСАС-ТМ-40\***

**МИ 2661-2001**

Группа Т86.2

*Дата введения 2001-07-01*

**Информационные данные**

РАЗРАБОТАНА Инженерно-строительное бюро "Надежность", ГП "ВНИИФТРИ" Госстандарта России

ИСПОЛНИТЕЛИ В.В. Брайцев, А.И. Марков(руководители темы), В.Б. Николаев, Р.К. Зиновьев, И.Р. Петрашень

АТТЕСТОВАНА ГП "ВНИИФТРИ" Госстандарта России "28" февраля 2001 г.

Свидетельство № 001-103-00

УТВЕРЖДЕНА ГП "ВНИИФТРИ" Госстандарта России "01" марта 2001 г.

ЗАРЕГИСТРИРОВАНА ВНИИМС Госстандарта России "17" мая 2001 г.

ВВЕДЕНА В ПЕРВЫЕ

Настоящая рекомендация устанавливает методику выполнения измерений статических растягивающих и сжимающих усилий в рабочей арматуре периодического профиля диаметром 40 мм железобетонных конструкций АЭС и других объектов, работающих при повышенных температурах, преобразователями силы арматурными измерительными струнными термостойкими модернизированными ПСАС-ТМ-40\* (далее преобразователи) в комплексе со специализированными периодомерами (далее - периодомеры) и омметрами. Диапазоны измерений усилий двух типов размеров преобразователей, их нормируемые метрологические характеристики и диапазон рабочих температур, а также метрологические и технические характеристики периодомеров и омметра приведены в приложении 1.

## 1. Требования к погрешности измерений

При соблюдении требований настоящей рекомендации погрешность результата измерений, приведенная к диапазону измерений преобразователя при температуре окружающей среды от минус 30 до +130 °С, составляет соответственно от 5 до 10 %.

Диапазон значений погрешности 5...10 % является характеристикой погрешности измерений, приписанной данной МВИ.

## 2. Средства измерений, вспомогательные устройства и документация

2.1. При выполнении измерений применяют средства измерений, приведенные в таблице.

Таблица

Наименование средства измерений	Обозначение типа средства измерения и ТУ	Наименование измеряемой величины
Преобразователь силы арматурный измерительный струнный термостойкий модернизированный, работающий в комплекте с одним из нижеуказанных специализированных периодометров и омметром (прибором комбинированным)	Тип ПСАС-ТМ-40* БДАР.404179.001 ТУ	Усилия сжатия и растяжения в рабочей арматуре ж/б конструкций
Периодометр цифровой портативный	Тип ПЦП-1 ТУ 34-28-10246-81	Период выходного сигнала преобразователя
Периодометр цифровой стационарный	ГРН № 13826-94 Тип ПЦС ТУ 34-28-11182-87	То же
Прибор комбинированный, используемый в качестве омметра класса не более 1,5	ГРН № 13827-94 Тип 4353 ТУ 25-04-3303-77	Электрическое сопротивление постоянному току обмотки катушки электромагнитного устройства преобразователя
Мегаомметр (в качестве вспомогательного средства измерений)	ТИП М 4100/3 ТУ 25-04.2131-78	Электрическое сопротивление изоляции преобразователя
Преобразователь линейных деформаций измерительный струнный (в качестве вспомогательного средства измерений)	ПЛДС-150 ТУ 34 28.10341-97 ГР № 13804-94	Относительные линейные деформации

2.2. Допускается применять другие омметры мегомметры, удовлетворяющие по точности классу 1,5.

2.3. Для обеспечения готовности проведения измерений для каждого преобразователя необходима следующая документация:

2.3.1. Акт об установке (монтаже) преобразователя в рабочей арматуре с указанием:

- заводского номера преобразователя;
- местоположения преобразователя на генплане объекта с указанием ориентации его оси;
- соблюдения условий монтажа, изложенных в разделе 7.

2.3.2. Индивидуальной градуировочной характеристики преобразователя, которую приводят в свидетельстве о его приемке в руководстве по эксплуатации.

2.3.3. Функции влияния температуры, которую приводят в свидетельстве о приемке преобразователя и руководстве по эксплуатации.

2.4. Периодометр (вторичный измерительный прибор) используют для измерений основного информативного параметра выходного сигнала преобразователя - периода гармонических затухающих колебаний электродвижущей силы.

2.5. Омметр (вторичный измерительный прибор) используют для измерений вспомогательного информативного параметра выходного сигнала преобразователя - электрического сопротивления обмотки катушки электромагнитного устройства постоянному току.

2.6. Систему регистрации информативных параметров и сбора измерительной информации от преобразователей, установленных на конкретном объекте в зависимости от уровня автоматизации выполняют в одном из двух вариантов исполнения:

2.6.1. Дистанционной системы с выводом кабелей линий связи от преобразователей на ручные коммутаторы типа КП-24 ТУ 34.28.15506-77 и измерениями сигналов с помощью периодометра ПЦП-1 и омметра.

2.6.2. Автоматизированной информационно-измерительной системы со встроенным периодомером ПЦС на базе управляющих вычислительных комплексов, включающих ПЭВМ и выполняющих сбор, обработку, хранение, накопление и анализ измерительной информации.

2.7. Мегаомметр в качестве вспомогательного средства измерений используют для проверки состояния изоляции преобразователя перед и после установки на объекте эксплуатации.

2.8. Преобразователь линейных деформаций ПЛДС-150 в качестве вспомогательного средства измерений используют для контроля точности измерений в процессе эксплуатации (см. п. 10.3).

### 3. Метод измерений

3.1. Измерения усилий в рабочей арматуре выполняют методом, основанным на зависимости частоты свободных колебаний струнного резонатора от его натяжения.

Под воздействием измеряемого усилия струнный резонатор (5) (черт. 1) воспринимает дополнительную деформацию (растяжения или сжатия) упругого чувствительного элемента (3), что приводит к изменению периода его собственных колебаний, измеряемого периодомером. По значению измеряемого периода оценивают величину действующего в рабочей арматуре усилия.

Струнный резонатор (5) представляет собой натянутую струну (тонкую стальную проволоку) вдоль продольной оси преобразователя. Резонатор приводится в колебательное движение с помощью установленного в преобразователе электромагнитного устройства (4), импульс возбуждения на которое подается от специализированного периодомера, после чего струна совершает свободные гармонические затухающие колебания. Электромагнитное устройство (4) является обратимым и используется как для возбуждения резонатора, так и для генерации в нем гармонических затухающих колебаний э.д.с. под действием колеблющейся струны. Это позволяет сигналы запроса и ответа передавать по одной и той же линии связи, соединяющей преобразователь с периодомером.

Чувствительный элемент (3), который одновременно выполняет функцию корпуса преобразователя, от сцепления с бетоном защищен чехлом (8).

Информативным параметром выходного сигнала преобразователя является период (частота) гармонических затухающих колебаний э.д.с.

3.2. Катушка электромагнитного устройства (4) преобразователя дополнительно выполняет функцию датчика температуры окружающей среды, использующего эффект изменения электрического сопротивления постоянному току медного обмоточного провода катушки электромагнитного устройства от температуры.

3.3. Непосредственно после измерений периодомером периода выходного сигнала измеряют омметром электрическое сопротивление обмотки катушки электромагнитного устройства преобразователя (исключая электрическое сопротивление линии связи) и по функции влияния температуры определяют значение поправки, на которую корректируют результат измерений (п. 8.2).

### 4. Требования безопасности и охраны окружающей среды

4.1. При выполнении измерений усилий в рабочей арматуре железобетонных конструкций необходимо соблюдать "Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей" (ПТБ) и "Правила устройства электроустановок" (ПУЭ).

4.2. Электрическое сопротивление изоляции между корпусом и электрической цепью преобразователя: не менее 1,0 МОм при испытательном напряжении 500 В постоянного тока.

### Конструктивная схема преобразователя ПСАС-ТМ-40\*

а)

б)

- а) - Конструктивная схема преобразователя,
- б) - Электрическая схема подсоединения кабельной линии связи к преобразователю
- 1 - отрезки арматурных стержней (удлинители), 2 - штуцер кабельного ввода,  
 3 - чувствительный элемент (корпус), 4 – электромагнитное устройство,  
 5 – струнный резонатор, 6 - обмотка катушки электромагнитного устройства,  
 7 - преобразователь ПСАС-ТМ-40, I, II, III - входные жилы кабеля линии связи,  
 8 - чехол.

## 5. Требования к квалификации операторов

5.1. К выполнению измерений допускают лиц, имеющих образование не ниже среднетехнического, квалификационную группу по технике безопасности при работе с напряжением до 1000 В не ниже II, изучивших руководства по эксплуатации преобразователя и других средств измерений и вспомогательных устройств, приведенных в разделе 2, и настоящую рекомендацию и прошедших инструктаж по безопасности труда на объекте, где проводят измерения.

5.2. К обработке результатов измерений допускают лиц из числа инженерно-технических работников службы эксплуатации сооружений, специализирующихся в области диагностики его напряженно-деформированного состояния.

## 6. Условия измерений

При выполнении измерений соблюдают следующие условия:

6.1. Для преобразователя, работающего вневоздушной среде (бетоне) температура окружающей преобразователя среды: К(°С).....243...403 (-30...+130);

6.2. Для периодомера и прибора комбинированного (используемого в качестве омметра), работающих в воздушной среде:

- температура окружающей среды, К(°С).....283...303 (+10...+30);

- относительная влажность воздуха при температуре 298 К (+25°С), %, не более .....80;

- атмосферное давление, кПа.....84,0...106,7.

## 7. Подготовка к выполнению измерений

7.1. Установка преобразователей на объекте эксплуатации, их месторасположение и ориентация осей соответствуют проекту размещения контрольно-измерительной аппаратуры.

7.2. При установке преобразователей в рабочей арматуре сооружения до его бетонирования проводят следующие работы.

7.2.1. После распаковки и перед установкой проводят внешний осмотр каждого преобразователя с целью установления отсутствия видимых повреждений, коррозии, сохранности защитного чехла из пленки Ф-430 и надежности его закрепления лентой ЛЭТСАР.

7.2.2. У каждого преобразователя проверяют прибором Ц4353 целостность токоведущих частей, сопротивление их электрической изоляции от корпуса с помощью мегаомметра М4100/3, которое должно быть не менее 1 МОм, и значение периода выходного сигнала при "нулевом" усилии, которое должно находиться для типоразмера ПСАС-ТМ-40 Р\* в диапазоне 830 ... 1136 мкс, а для типоразмера ПСАС-ТМ-40 С\* - в диапазоне 613 ... 1010 мкс.

7.2.3. Для установки преобразователя в рабочей арматуре вырезают участок длиной  $l$ , определяемой соотношением

$$l = L + (5 \dots 10) \text{ мм}; \quad (1)$$

где  $L$  - длина преобразователя с удлинителями, мм.

7.2.4. Преобразователь устанавливают в арматуру с помощью двух металлических накладок, материал и суммарная площадь поперечного сечения которых обеспечивают передачу максимального усилия, которое может воспринять контролируемая арматура, и привариваемых электросваркой к удлинителям преобразователя и арматуре на участке длиной, равной пяти диаметрам арматуры, или с помощью ванной сварки (черт.2).

7.2.5. Химический состав стали, из которой выполнены накладки, обеспечивает возможность их приварки к контролируемой арматуре.

7.2.6. Приварку преобразователя к арматуре проводят с перерывами при его непрерывном охлаждении путем наложения на удлинители (2) смоченной водой плотной ткани, контролируя температуру на наружной поверхности средней части преобразователя и не допуская ее выше 100°С.

7.2.7. Измеряют и фиксируют в журнале наблюдений начальные показания выходного сигнала преобразователя, после чего подсоединяют его к линии связи.

**Установка преобразователя ПСАС-ТМ-40\* в рабочей арматуре  
периодического профиля**

a)

б)

Черт. 2

а) на накладках, б) на ванной сварке

1 - накладка, 2 – экран (чехол), 3 – корпус ПСАС-ТМ-40\*,

4 - удлинитель ПСАС-ТМ-40, 5 - рабочая арматура, 6 - ванночка

7.2.8. Кабель линии связи - трехжильный, теплостойкий (до 130°С), с медными гибкими жилами сечением не менее 1,5 мм<sup>2</sup>.

7.2.9. Соединение жил трехжильного кабеля с линией связи проводят сваркой или пайкой оловянно-свинцовым припоем ПОС 10 с применением бескислотного флюса.

7.3. При установке преобразователей (или замене вышедших из строя) в рабочую стержневую арматуру эксплуатируемого железобетонного сооружения, в том числе в случае, когда в арматуре действуют значительные эксплуатационные усилия следует руководствоваться методикой, приведенной в приложении 2.

7.4. При подготовке к выполнению измерений:

- 1) устанавливают наличие в документации на преобразователь его градуировочной характеристики и функции влияния температуры;
- 2) условия измерений проверяют на соответствие требованиям раздела 6 настоящей рекомендации;
- 3) проверяют, что средства измерений и системы регистрации имеют свидетельства о поверке (калибровке) и подготовлены к работе согласно технической документации на них, утвержденной в установленном порядке;
- 4) измерения периода выходного сигнала преобразователя проводят с помощью специализированных периодометров типа ПЦП-1 или ПЦС;
- 5) измерения электрического сопротивления обмотки катушки электромагнитного устройства преобразователя постоянно току проводят омметром класса не ниже 1,5.

## 8. Выполнение измерений

8.1. При выполнении измерений усилий в арматуре проводят следующие операции:

8.1.1. Подключают периодометр к клеммам сборки ручного коммутатора КП-24 или автоматизированной информационно-измерительной системы, на которые выведены жилы I и II трехжильного кабеля линии связи преобразователя (черт. 1), проводят измерения периода его выходного сигнала и фиксируют показание периодометра  $X_i$  (мкс).

8.1.2. По градуировочной характеристике преобразователя и показанию периодометра  $X_i$  находят наблюдаемое значение измеряемого усилия  $F_{Hj}$  (кН).

8.1.3. Отключают периодометр от клемм сборки.

8.2. При выполнении измерений электрического сопротивления обмотки катушки электромагнитного

устройства преобразователя проводят следующие операции:

8.2.1. Подключают омметр к клеммам сборки, соответствующим жилам I и II (п.8.1.1) и проводят измерения электрического сопротивления  $R_i$  (Ом), которое представляет из себя сумму:

$$R_i = R_{Tj} + R_{лсj}, \quad (2)$$

где  $R_{Tj}$  - электрическое сопротивление постоянному току обмотки катушки электромагнитного устройства преобразователя при температуре окружающей среды  $T_j$ , Ом;

$R_{лсj}$  - суммарное электрическое сопротивление постоянному току двух последовательно соединенных жил I и II кабеля линии связи при температуре  $T_j$ , Ом ( $T_j$  - средняя температура среды по длине линии связи,  $T_j \neq T_i$ ).

8.2.2. Отключают омметр от клемм сборки, соответствующих жилам I и II, и подключают его к клеммам сборки, соответствующих жилам II и III, которые закорочены между собой на входе преобразователя, и измеряют электрическое сопротивление между ними. Принимают результат данного измерения (с точностью до  $\pm 1,0$  Ома) за значение  $R_{лсj}$ .

8.2.3. Находят  $R_{Tj}$  по формуле

$$R_{Tj} = R_i - R_{лсj}. \quad (3)$$

8.2.4. По функции влияния температуры и определенному по формуле (3) значению  $R_{Tj}$  определяют значение математического ожидания систематической составляющей функции влияния температуры  $y(T_j)$  (кН) при температуре  $T_j$  окружающей среды преобразователя, которая однозначно связана с электрическим сопротивлением  $R_{Tj}$  (Ом).

8.3. По временному сопротивлению разрыву стали, из которой выполнена рабочая арматура (берут из сертификата соответствия на нее), и площади поперечного сечения арматуры определяют предельное разрывное усилие  $F_p$  (кН).

8.4. Последовательно измеряют периоды выходного сигнала (п.8.1.1) у всех "n" установленных на объекте преобразователей и находят соответствующие наблюдаемые значения измеряемых усилий  $F_{Hj}$  ( $i = 1 \dots n$ ) (п.8.1.2.), измеряют электрическое сопротивление обмотки катушки  $R_{Tj}$  (п.п. 8.2.1-8.2.3), находят соответствующие им значения математических ожиданий  $y(T_j)$  ( $i = 1 \dots n$ ) (п.8.2.4) и регистрируют их в журнале наблюдений или в памяти ЭВМ.

## 9. Обработка (вычисление) результатов измерений

9.1. Обработку результатов измерений усилий в арматуре выполняют следующим способом:

9.2. Значение измеренного усилия  $F_{U3Mi}$  в контролируемом стержне арматуры определяют по зависимости

$$F_{U3Mi} = F_{Hi} + \psi(T)_i + \Omega_i; \quad (4)$$

где  $F_{U3Mi}$  - результат измерений усилия, кН;

$F_{Hi}$  - наблюдаемое значение усилия, определенное по градуировочной характеристике преобразователя, кН;

$y(T)_i$  - значение математического ожидания систематической составляющей функции влияния температуры при температуре окружающей среды  $T_j$ , кН;

$W_j$  - поправка, вводимая в результаты измерений с целью исключения систематической погрешности измерений, возникающей за счет взаимодействия преобразователя с объектом измерения, кН.

Если наблюдаемое растягивающее усилие меньше 0,1 предельного разрывного усилия  $F_p$  (п.8.3) ( $F_{Hi} < 0,1 F_p$ ), т.е. преобразователь находится в трещиностойкой зоне, то поправку в результат измерений не вводят, т.е.  $W_j = 0$ .

Если к моменту измерений растягивающего усилия уже образовались трещины в железобетонной конструкции, проходящие в плоскости, пересекающей корпус преобразователя, что соответствует условию  $F_{Hi} \geq 0,1 F_p$ , то  $W_j = 0,12 F_q$  ( $F_q$  - диапазон измерений растягивающих усилий в типоразмере преобразователя, кН).

Для наблюдаемых сжимающих усилий  $W_j$  является отрицательной величиной и при условии, когда корпус преобразователя по всей длине защищен от сцепления с бетоном экраном (чехлом),  $W_j = -0,13 F_{Hi}$ .

9.3. Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений усилий  $\Delta$  вычисляют по формуле

$$\Delta = \pm D \sqrt{(\gamma + \gamma_{дон})^2 + \alpha^2}, \quad (5)$$

где  $D$  - пределы допускаемой абсолютной погрешности измеряемого усилия, кН;

$D$  - диапазон измерений усилий преобразователя (объединяющий поддиапазоны измерений сжимающих и растягивающих усилий), кН;

$\gamma$  - пределы допускаемой основной погрешности преобразователя, приведенной к диапазону измерений ( $\gamma = \pm 0,04$ );

$\alpha$  - пределы допускаемой случайной составляющей погрешности, возникающей за счет взаимодействия преобразователя с объектом измерений, не исключенной введением поправки на математическое ожидание систематической составляющей этой погрешности (раздел 8) и приведенной к диапазону измерений ( $\alpha = \pm 0,03$ );

$\gamma_{\text{доп}}$  - пределы допускаемой дополнительной погрешности преобразователя, приведенной к диапазону измерений, вызванной отливом температуры окружающей среды во время измерений и во время градуировки не исключенной введением поправки на величину математического ожидания систематической составляющей функции влияния температуры (раздел 8), определяемые по формуле

$$\gamma_{\text{доп}} = \pm |\Delta T| K_T, \quad (6)$$

где  $\Delta T$  - разность между значениями температуры окружающей среды в месте расположения преобразователя во время измерений усилия и температуры, при которой проведена его градуировка, К;

$K_T$  - коэффициент, характеризующий предельную не исключенную дополнительную погрешность,  $1/\text{К}$ ,  $K_T = 0,0005$ ;

Примечание: погрешность специализированного периодамера, измеряющего период выходного сигнала преобразователя в формулу (1) не включают, т.к. она пренебрежимо мала.

9.4. Результат измерений усилий в арматуре, определенный по формуле (4), представляют именованным (в кН) числом со округлением до десятков кН, и пределами допускаемой абсолютной погрешности измерений, определенными по формуле (5) с тем же округлением.

9.5. Вычисления по формулам (4) и (5) проводят вручную или автоматически (по программе) в зависимости от варианта использования системы сбора измерительной информации (п. 2.6).

9.6. При наличии на объекте автоматизированной информационно-измерительной системы, включающей ЭВМ, с помощью программного обеспечения выполняют следующие операции:

- управление измерениями (опрос преобразователей в заданном временном режиме, определение и исключение из дальнейшей обработки промахов, ввод результатов измерений в память ЭВМ);
- накопление, хранение, поиск и представление измерительной информации в удобном для анализа виде;
- вычисления, связанные с обработкой результатов измерений и проведение анализа методами математической статистики.

## 10. Контроль точности результатов измерений

10.1. При выполнении измерений по данной рекомендации проводят эксплуатационный и периодический контроль погрешности результатов измерений.

10.2. Эксплуатационный контроль включает:

- проверку работоспособности преобразователей, линии связи и вторичной измерительной аппаратуры;
- определение и исключение из дальнейшей обработки измерительной информации промахов, которые вызваны метрологическими отказами преобразователей.

10.2.1. Проверку работоспособности измерительного комплекса, как правило, проводят с помощью тестовых программ при включении автоматизированной информационно-измерительной системы в работу.

10.2.2. Для определения промахов при разработке проекта размещения преобразователей на объекте в ответственных точках предусматривают дублирование (установку трех-четырех преобразователей), а в процессе измерений проводят сравнительный анализ их показаний на основе известных статистических моделей, позволяющих с заданной степенью вероятности своевременно определить метрологический отказ одного из преобразователей.

10.2.3. Для оценки достоверности результатов измерений с помощью преобразователей, установленных в теплостойких железобетонных конструкциях АЭС, анализируют (с привлечением специалистов - расчетчиков) разницу их показаний в рабочих условиях эксплуатации и при охлажденном реакторе в период проведения планово-предупредительных ремонтов. Преобразователи, показания которых вызывают подозрение, вносят в план проведения очередного периодического контроля.

10.3. Периодический контроль проводят, когда число преобразователей, показания у которых вызывают подозрение, достигает 5 % от общего количества преобразователей, установленных на объекте.

10.3.1. Контроль погрешности результатов измерений для каждого вызывающего подозрение преобразователя (п. 10.2.3.) при периодическом контроле осуществляют в следующей последовательности:

- обнажают арматурный стержень, в который врезан преобразователь, на участке длиной 40 см, начинающегося от любого конца измерительного элемента преобразователя;
- в соответствии с МИ 2369-96 вдоль обнаженной части арматурного стержня на базе 150 мм устанавливают преобразователь линейных деформаций измерительный струнный типа ПЛДС-150 с пределами допускаемой основной погрешности измерений  $\pm 2,0\%$ ;
- проводят измерения периодов выходных сигналов преобразователя и ПЛДС-150 и определяют по их градуировочным характеристикам соответственно действующее усилие в арматуре  $F$  (кН) и начальную линейную относительную деформацию  $\epsilon$  ( $\text{млн}^{-1}$ );
- дисковой алмазной фрезой толщиной 3 мм срезают рабочую арматуру в зоне между преобразователем и ПЛДС-150;
- проводят измерения периодов выходных сигналов преобразователя и ПЛДС-150 и определяют по их градуировочным характеристикам соответственно усилие  $F_0$  и относительную деформацию  $\epsilon_0$ , которые соответствуют "нулевому" усилию в арматурном стержне;

- вычисляют разности  $DF = F - F_0$  и  $De = e - e_0$ .

10.3.2. Преобразователь считают метрологически исправным, если выполняется соотношение

$$0,94 \cdot \Delta F \leq S \cdot E \cdot \Delta \varepsilon \leq 1,06 \cdot \Delta F, \quad (7)$$

где  $S$  - площадь поперечного сечения рабочей арматуры (по сертификату арматуры),  $m^2$ ;

$E$  - модуль упругости стали рабочей арматуры (по сертификату арматуры), МПа.

10.3.3. Если преобразователь признан метрологически исправным, то по методике, изложенной в приложении 2, проводят соединение арматуры в месте разреза с последующим бетонированием.

10.3.4. Если преобразователь признан метрологически неисправным, то он подлежит замене на исправный по методике, изложенной в приложении 2.

## 11. Оформление результатов измерений

11.1. Результаты измерений усилий в рабочей арматуре в виде, указанном в п. 9.3, фиксируют в журнале наблюдений или на магнитном носителе. Регистрируемая информация содержит следующие данные:

- дату и время проведения измерений;
- тип и заводской номер преобразователя;
- условный номер по классификатору предприятия, отвечающего за эксплуатацию объекта, где установлен преобразователь, раскрывающий сведения о месте расположения преобразователя и о времени его ввода в рабочую эксплуатацию;
- предельно допускаемые значения растягивающих и сжимающих усилий в контролируемой арматуре;
- температуру окружающей преобразователь среды;
- результат измерений усилия;
- фамилия, и. о., должность и подпись лица, выполнившего измерения.

11.2. При необходимости передачи результатов измерений на большие расстояния используют модем.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Метрологические и технические характеристики преобразователя ПСАС-ТМ-40\*

Диапазон измерений усилий (объединяющий поддиапазоны измерений сжимающих и растягивающих усилий), кН .....	480.
Поддиапазон измерений растягивающих усилий для:	
ПСАС-ТМ-40Р*, кН.....	0 ... +400.
ПСАС-ТМ-40С*, кН.....	0 ... +280.
Поддиапазон измерений сжимающих усилий для:	
ПСАС-ТМ-40Р*, кН.....	-80...0.

ПСАС-ТМ-40С*,кН.....	-200...0.
Пределы допускаемой основной погрешности, приведенной к диапазону измерений, %.....	4.
Предел допускаемой вариации показаний, приведенной к диапазону измерений, %.....	4.
Пределы допускаемой дополнительной погрешности, приведенной к диапазону измерений, вызванной отклонением температуры окружающей преобразователь среды от нормальной (Т=293К) на каждые 10К (10°С), %.....	±0,05.
Диапазон рабочих температур, К (°С).....	243...403 (-30...+130°С).
Рабочий диапазон периодов выходного сигнала, мкс.....	450...1250.
Амплитуда напряжения выходного сигнала в интервале времени от 100 до 200 периодов после окончания импульса возбуждения, мВ, не менее.....	5.
Выходной импеданс на частоте 1,5 кГц, кОм.....	0,2...0,3.
Функция влияния температуры.....	Индивидуальная зависимость для каждого преобразователя (партии) в виде функции 1-ого или 2 -ого порядка.
Кабель линии связи для соединения преобразователя со вторичными измерительными приборами (периодомером и омметром).....	трехжильный, теплостойкий.

**Метрологические и технические характеристики  
периодомера ПЦП-1 ТУ 34-28-10246-81**

Диапазон измерений периодов, мкс.....	400...2000.
Пределы допускаемой систематической составляющей основной относительной погрешности, %.....	± 0,1.
Предел допускаемого среднего квадратического отклонения случайной составляющей основной относительной погрешности, %.....	0,05.
Результат измерений, отображаемый на пятиразрядном цифровом табло с минимальной ценой единицы наименьшего разряда, мкс.....	0,1.
Входное сопротивление на частоте 1,5 кГц, кОм, не менее.....	1.
Амплитуда напряжения импульса запроса на нагрузку 100...140 Ом, В.....	135... 165.
Длительность импульса запроса на уровне 0,1 амплитудного значения, мс...	0,3...0,7.

**Метрологические и технические характеристики  
периодомера ПЦС ТУ-28-11182-87**

Диапазон измерений периодов, мкс.....	300.. .2000.
Пределы допускаемой систематической составляющей основной относительной погрешности, %.....	± 0,03.
Предел допускаемого среднего квадратического отклонения случайной составляющей основной относительной систематической погрешности, %.....	0,03.
Результат измерения, отображаемый на пятиразрядном цифровом табло с минимальной ценой единицы наименьшего разряда, мкс.....	0,1.
Входное сопротивление на частоте 1кГц, кОм.....	2,4... 3,6.
Амплитуда напряжения импульса запроса на нагрузку 180...220 Ом, В.....	135... 165.
Длительность импульса запроса на уровне 0,1 амплитудного значения, мс...	0,3... 0,7.

**Метрологические и технические характеристики прибора комбинированного  
М 4553 ТУ 25-04.3303-77, используемого в качестве омметра**

Диапазон измерений электрического сопротивления постоянному току, Ом.....	0... 300.
Пределы допускаемой основной относительной погрешности, %.....	± 1,5.
Габаритные размеры, мм .....	215*115*90.
Масса, кг .....	1,5.

## Методика установки преобразователя силы в рабочую стержневую арматуру, в которой действуют эксплуатационные усилия

Установку преобразователей в арматуре эксплуатируемого железобетонного сооружения, в котором преобразователи силы в процессе его возведения установлены не были либо вышли из строя в процессе эксплуатации и подлежат замене, проводят в следующей последовательности:

- вдоль выбранного для установки в него преобразователя арматурного стержня на расстоянии не менее длины его анкеровки удаляют бетон, образуя две штрабы А и В (черт. 2.1.а) на глубину защитного слоя двух диаметров арматуры;
- в штрабе А на обнаженную арматуру устанавливают тензорезисторы (или струнный преобразователь ПЛДС-150) и измеряют начальное значение ее продольной деформации;
- в штрабе В перерезают арматуру;
- осуществляют последовательное вскрытие бетонного слоя с обнажением арматуры между штрабами в зонах I, II, III до образования единой штрабы, после чего измеряют значение продольной деформации арматуры при ее полной разгрузке;
- по разности измеренных деформаций определяют действовавшее в арматуре усилие;
- вырезают отрезок обнаженного арматурного стержня необходимой длины и на его место устанавливают преобразователь силы и натяжное устройство в одной из модификаций, представленных на чертежах 2.1.б-2.1.д.
- с помощью натяжного устройства воспроизводят ранее (до перерезки арматуры) действовавшее усилие, контролируя его установленным преобразователем усилия и (или) тензорезисторами (или ПЛДС-150);
- бетонируют штрабу.

Черт. 2,1

Натяжное устройство с целью воспроизведения заданных усилий растяжения или сжатия содержит упоры, взаимодействующие с ним натяжную гайку и контргайки, причем упоры выполнены в виде двух стержней со сторонними длинными мелкими резьбами, на одном - правой, на другом - левой, а натяжная гайка - в виде ниппеля с двумя внутренними длинными мелкими резьбами разделяющей их срединной канавкой, причем с одной стороны от торца до срединной канавки резьба - правая, а с другой - левая, и лысками под ключ на наружной части, первоначально собранное ввинчиванием стержней с двух сторон в натяжную гайку с оставлением зазора между их торцами на толщину срединной канавки и затем жестко присоединенное (сваркой) свободными концами соответственно к рабочей арматуре и удлинителю преобразователя силы (черт. 2.1.б).

Рекомендуется применять один из трех вариантов устройства, в которых упоры (стержни) и накидная гайка с целью сокращения установочного габарита (длины), необходимого для размещения преобразователя силы и натяжного устройства, совмещаются с конструкцией одного (или двух) удлинителей преобразователя силы.

В первом варианте один из стержней (левой или правой резьбой) выполнен на конце одного из удлинителей преобразователя силы (черт. 2.1.в).

Во втором варианте внутренняя мелкая резьба от торца до срединной канавки выполнена в натяжной гайке только с одной стороны, на другой ее стороне сужением внутреннего диаметра для отверстия под болт образован упорный выступ, вместо одного из стержней использован один из удлинителей преобразователя силы, выполненный в виде болта с резьбой

подконтргайку и круглой головкой, при этом обеспечивается скользящая посадка при перемещении головки внутри натяжной гайки до взаимодействия ее с упорным выступом, а другой стержень выполнен в виде полого цилиндра с внутренним диаметром, обеспечивающим его надевание на рабочую арматуру, и длинной мелкой наружной резьбой, соответствующей внутренней резьбе натяжной гайки, первоначально собранное жестким креплением (сваркой) надето на рабочую арматуру полого цилиндра, установкой головки болта удлинителя преобразователя силы внутри натяжной гайки с креплением его на упорном выступе контргайкой и последующим жестким присоединением (сваркой) удлинителя с натяжной гайкой к измерительному элементу преобразователя (черт. 2.1.г).

В третьем варианте удлинителя преобразователя силы выполнены в виде глухих колпачковых натяжных гаек, одна - с правой, а другая - с левой резьбой и лысками под ключи на их наружных цилиндрических частях, при этом гайки взаимодействуют резьбовыми соединениями со стержнями, предварительно ввернутыми до упора в натяжные гайки и затем вывернутые на два оборота, после чего жестко присоединенные (сваркой) свободными концами стержней к рабочей арматуре (черт. 2.1.д).

На черт. 2.1.а представлена схема, поясняющая принцип методики: первоначально образуются штрабы А (где на обнаженную арматуру устанавливают тензорезисторы) и В (где после измерений тензорезисторами начальной продольной деформации арматуры перерезают арматуру); зоны I, II, III, в которых последовательно вскрывают арматуру, зона IV - которую затем дополнительно вскрывают для монтажа полого цилиндра 1а при установке натяжного устройства по схеме на чертеже 2.1.г.

На чертежах 2.1.б-2.1.д представлены схемы, поясняющие устройство и работу натяжных устройств, выполненных в разных вариантах исполнения, при этом приняты следующие обозначения:

1 - стержень (упор) с правой резьбой;

1а - стержень в виде полого цилиндра с наружной правой резьбой в схеме на чертеже 2.1.г;

2 - стержень (упор) с левой резьбой;

2а - стержень с левой резьбой на конце удлинителя преобразователя силы в схеме на чертеже 2.1.в;

2б - стержень в виде болта с круглой головкой на конце удлинителя преобразователя силы в схеме на чертеже 2.1.г;

3 - натяжная гайка в виде ниппеля с двумя внутренними резьбами (правой и левой) в схемах на чертежах 2.1.б и 2.1.в;

3а - натяжная гайка с одной правой внутренней резьбой и упорным выступом в схеме на чертеже 2.1.г;

3б - натяжная гайка из двух колпачковых гаек (одна с правой, а другая с левой резьбой) соединенных преобразователем силы в схеме на чертеже 2.1.д;

4 и 4а - контргайки с правой резьбой;

5 - контргайка с левой резьбой;

6 - измерительный струнный элемент преобразователя силы;

7 - удлинители преобразователя силы (в виде, выпускаемом производителем).

Для наглядности схемы на чертежах 2.1.б-2.1.д установки преобразователя силы и натяжного устройства на рисунке представлены так, что первый (с левой стороны) стык располагается на уровне перереза арматуры на чертеже 2.1.а.

Схему на чертеже 2.1.б характеризует наибольший установочный габарит (длина), в котором последовательно размещаются преобразователь силы и натяжное устройство. Приварка свободных концов стержней 1 и 2 натяжного устройства к свободному удлинителю 7 (другой удлинитель 7 уже приварен к арматуре) преобразователя силы, с одной стороны, и к рабочей арматуре, с другой стороны, предшествует приведению натяжного устройства в рабочее положение, которое осуществляется в следующей последовательности: стержни 1 и 2 ввинчивают в натяжную гайку 3 до упора между собой на уровне срединной канавки натяжной гайки, а затем каждый стержень выворачивают на 2 оборота, на стержни навинчивают контргайки 4 и 5 до положения, когда между ними и соответствующими торцами натяжной гайки зазор не составит 2...3 мм. Сварку концов стержней 1 и 2 собранного натяжного устройства с арматурой и удлинителем 7 преобразователя производят с помощью накладок или ванной сварки.

Работу натяжного устройства осуществляют следующим образом. Установив зев гаечного ключа с удлиненной рукояткой соответствующие лыски на наружной поверхности натяжной гайки 3 и поворачивая его часовой стрелке, воспроизводят в рабочей арматуре (точнее, на том ее участке, где в результате проведенных операций потеряно сцепление с бетоном) растягивающее (а против часовой стрелки - сжимающее) заданное усилие, которое контролируют по показаниям установленного преобразователя силы или (и) установленных тензорезисторов.

В схеме на чертеже 2.1.в работа устройства происходит аналогично. Отличие заключается только в том, что стержень 2 заменен стержнем 2а, одновременно выполняющим функцию удлинителем преобразователя силы 7, путем выполнения на одном из концов удлинителя 7 левой резьбы. Поскольку удлинитель 2а в данном случае должен поставляться в приваренном к измерительному элементу 6 преобразователя в виде, то приведение натяжного устройства в рабочее положение начинается с навинчивания на стержень 2а контргайки 5, затем накидной гайки 3. Далее сохраняется аналогия со схемой на чертеже 2.1.б.

Преимущество схемы на чертеже 2.1.в перед схемой на чертеже 2.1.б заключается в том, что уменьшается установочный габарит и ликвидируется один сварочный стык.

В схеме на чертеже 2.1.г стержень 2 заменен стержнем 2б, также как и в схеме на чертеже 2.1.в, совмещенным с удлинителем 7 преобразователя силы, но выполненным в виде болта с круглой головкой. Накладная гайка 3а выполнена с одной резьбой. Стержень заменен стержнем 1а и выполнен в виде полого цилиндра с наружной резьбой, установленного на рабочей арматуре с помощью сварки. Все резьбы в этом натяжном устройстве правые. Контргайки 4 и 4а имеют разные диаметры резьбы.

Натяжное устройство по схеме на чертеже 2.1.г поставляется производителем преобразователя силы с уже установленными на нем деталями 2б, 3а и 4, причем контргайка 4 затянута.

Установку натяжного приспособления производят в следующей последовательности: приваривают к рабочей арматуре надетый на нее стержень 1а и навинчивают на него контргайку 4а до крайнего (левого) положения (когда все нитки резьбы контргайки еще находятся в зацеплении с резьбой стержня 1а); скручивают с резьбы контргайку 4 на узкий (без резьбы) стержень 2б и сдвигают натяжную гайку 3а по направлению к измерительному элементу 6 преобразователя;

пристыковывают, не сваривая, удлинитель 7 к рабочей арматуре; навинчивают муфту 3а на стержень 1а до достижения головкой винта упругого выступа; приваривают удлинитель 7 к рабочей арматуре.

После соединения удлинителя 7 преобразователя с рабочей арматурой вращением гайки по часовой стрелке производят заданное растягивающее (против часовой - сжимающее) усилие в арматуре, после чего закрепляют контргайку 4.

В схеме на чертеже 2.1.д на оба удлинителя 7 преобразователя возложена функция натяжной муфты 3а. Преобразователь силы в этом случае поставляют полностью готовым к установке, которую осуществляют сваркой двух стыков свободных концов стержней 1 и 2 к рабочей арматуре.

Одним из преимуществ схемы на чертеже 2.1.д является возможность воспроизводить силу двумя гаечными ключами одновременно, для чего лыски под зев ключей выполнены на наружных поверхностях двух глухих гаек 3б.