

## **МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ УСИЛИЙ В РАБОЧЕЙ СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО СООРУЖЕНИЯ**

**Р.К. Зиновьев**

Российский университет дружбы народов  
*ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198*

В статье рассматриваются вопросы совершенствования методики выполнения измерения (МВИ) усилий в рабочей стержневой арматуре эксплуатируемого железобетонного сооружения в местах, где преобразователи силы в процессе строительства установлены не были или были установлены, но в процессе эксплуатации вышли из строя и подлежат замене.

**Ключевые слова:** стержневая арматура, методика выполнения измерений, преобразователь силы.

Предлагаемая МВИ предполагает измерение усилий в рабочей стержневой арматуре эксплуатируемого железобетонного сооружения. Она может быть использована научными, проектно-конструкторскими и эксплуатирующими сооружения организациями для создания мониторинга безопасности, в частности, на действующих АЭС.

Известен традиционный метод измерения усилий в рабочей арматуре сооружения, заключающийся в установке в ней до бетонирования промышленно выпускаемых струнных арматурных преобразователей силы с последующим измерением возникающих в арматурных стержнях усилий в процессе возведения и эксплуатации сооружения [1—3].

Основным недостатком традиционного метода является отсутствие возможности экспериментального определения усилий в местах, где преобразователи силы в процессе строительства не были установлены или были установлены, но в процессе эксплуатации вышли из строя и подлежат замене. Традиционный метод в принципе не рассматривает установку (замену) арматурного преобразователя силы на эксплуатируемом сооружении при наличии в рабочей арматуре существенных эксплуатационных усилий растяжения и сжатия.

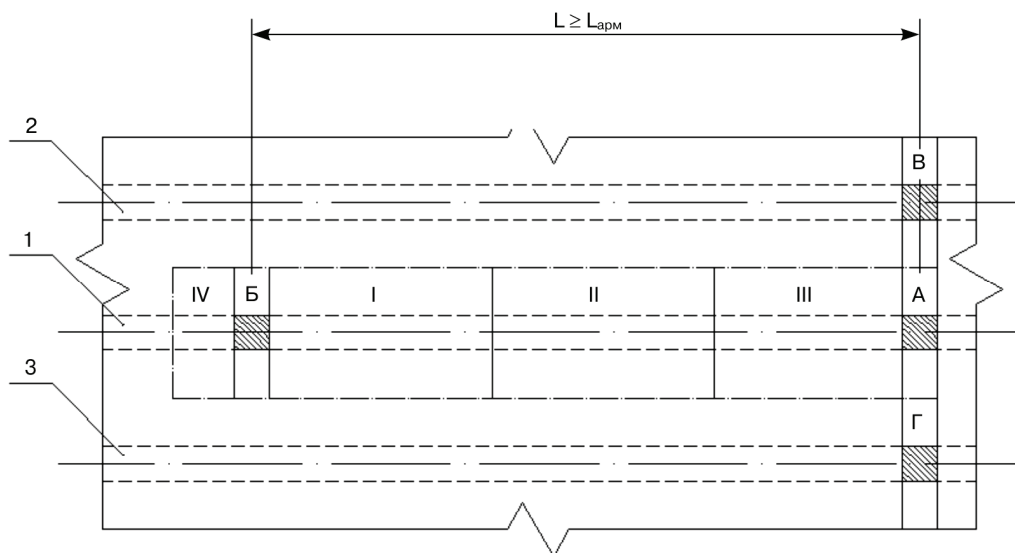
Впервые МВИ текущих усилий в стержневой арматуре эксплуатируемого железобетонного сооружения при установке (замене) в ней преобразователя силы изложена в [4]. Она базируется на методе разгрузки и заключается в том, что в зоне возникновения трещин вдоль арматурного стержня образуют две штрабы, в одной из которых на обнаженную арматуру устанавливают тензорезисторы, с помощью которых производят начальное (когда в арматуре действуют эксплуатационные усилия) измерение продольной относительной деформации арматуры. Затем в другой штрабе перерезают арматуру и последовательно вскрывают защитный бетонный слой с обнажением арматуры между штрабами до полного соеди-

нения двух штраб в единую штрабу. После этого вторично производят измерение продольной относительной деформации арматуры. По разности относительных деформаций арматуры, измеренных до ее перерезки и после того, как завершено образование единой штрабы, по закону Гука с учетом площади сечения арматурного стержня определяют действовавшие в арматуре до перерезки усилия  $N$ . Если во вскрытую арматуру вваривается преобразователь силы, то его начальные показания практически равны нулю. Для получения результата измерения текущего усилия наблюдаемое значение усилия, измеренное установленным преобразователем, суммируют с найденным значением усилия  $N$ . Недостатком изложенной МВИ является низкая точность измерений, что обусловлено искажением реальной картины напряженно-деформированного состояния железобетонной конструкции в месте установки преобразователя силы. Разгрузка стержня, в который вваривается преобразователь, особенно на участке, где было нарушено его первоначальное сцепление с бетоном, неизбежно приводит к перераспределению воспринимаемой им нагрузки (до перерезки) на другие, рядом расположенные стержни, в которых начинают действовать усилия, как правило, превышающие усилие  $N$ .

Развитием этой МВИ следует считать работы [5—6]. В отличие от способа [4] после проведения всех указанных выше мероприятий на место вырезанного отрезка обнаженного арматурного стержня устанавливают преобразователь силы и последовательно с ним натяжное устройство, с помощью которого воспроизводят заданное значение усилия  $N$ , которое контролируют установленным преобразователем силы и (или) датчиками деформации, после чего штрабу бетонируют. Однако применение натяжного устройства не позволяет повысить точность измерений усилий. Преобразователь в процессе измерений продолжает находиться в частично недогруженной (по сравнению с тем, что имело место до перерезки стержня) зоне и одновременно окруженный с двух сторон областями концентрации напряжений, образовавшихся в результате перерезки арматурного стержня. Это состояние качественно сохраняется и при воспроизведении усилия  $N$ . МВИ не позволяет даже оценить величину погрешности результата измерения усилия за счет указанного изменения напряженно-деформированного состояния в месте установки преобразователя усилия.

Предлагаемая МВИ является дальнейшим развитием способа [5], она призвана ликвидировать отмеченный недостаток. Для этого сначала образуют три штрабы: одну — на арматурном стержне, в котором устанавливается преобразователь силы, и две — в соседних с ним арматурных стержнях. Причем все три штрабы располагают по одной вертикали для арматуры, расположенной горизонтально, или на одной горизонтали для арматуры, расположенной вертикально. На обнаженные части арматуры в каждой из трех штраб устанавливают по два датчика деформаций, ориентированных симметрично относительно нейтральной оси арматурного стержня, и определяют деформации:  $\epsilon_{110}$ ,  $\epsilon_{120}$  — на первом стержне,  $\epsilon_{210}$ ,  $\epsilon_{220}$  — на втором стержне,  $\epsilon_{310}$ ,  $\epsilon_{320}$  — на третьем стержне. Затем на арматурном стержне, в который устанавливается преобразователь силы, образуют четвертую штрабу, перерезают в ней арматуру и вновь измеряют значения продольных от-

носительных деформаций:  $\epsilon_{111}$ ,  $\epsilon_{121}$  — на первом стержне,  $\epsilon_{211}$ ,  $\epsilon_{221}$  — на втором стержне и  $\epsilon_{311}$ ,  $\epsilon_{321}$  — на третьем стержне. В каждом из трех арматурных стержней по разностям двух измеренных продольных относительных деформаций вычисляют изменения действующих в них усилий  $\Delta N_{11}$ ,  $\Delta N_{21}$ ,  $\Delta N_{31}$ , которые вызваны перерезом стержня. После этого последовательно вскрывают бетонный слой с обнажением арматуры между первой и четвертой штрабами, и снова измеряют значения продольных относительных деформации  $\epsilon_{112}$ ,  $\epsilon_{122}$ ,  $\epsilon_{212}$ ,  $\epsilon_{222}$ ,  $\epsilon_{312}$ ,  $\epsilon_{322}$  в каждом из трех арматурных стержнях. По разностям двух измеренных продольных относительных деформаций в каждом из стержней вычисляют изменения действующих в них усилий  $\Delta N_{12}$ ,  $\Delta N_{22}$ ,  $\Delta N_{32}$ , которые вызваны только вскрытием бетонного слоя вдоль среднего стержня. Также вычисляют изменения действующих в них усилий  $\Delta N_{13}$ ,  $\Delta N_{23}$ ,  $\Delta N_{33}$ , которые вызваны совместным влиянием перерезки стержня и вскрытием бетонного слоя вдоль стержня. Усилие  $\Delta N_{13}$  принимаем за задаваемое значение усилия  $N_{зад} = \Delta N_{13}$  (т.е. за усилие, действовавшее в арматуре до начала проведения операций). Затем на среднем стержне на участке между штрабами вырезают отрезок арматуры и на его место устанавливают преобразователь силы и последовательно с ним натяжное устройство. С помощью этого устройства в стержне воспроизводят задаваемое усилие  $N_{зад}$ . Значение усилия контролируют как датчиками деформации в штрабе (с пересчетом на усилия), так и установленным преобразователем силы. Одновременно наблюдают за снижением показаний датчиков деформации в штрабах соседних стержней. На основании полученных экспериментальных данных определяют математическое ожидание действовавшего усилия  $N$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma_N$  (рис.).



**Рис.** Схема, поясняющая методику:

1, 2, 3 — арматурные стержни, А, Б, В, Г — штрабы, I, II, III, IV — зоны последовательности оголения арматуры

Первоначально образуют три штрабы: А — на арматурном стержне 1, в котором устанавливается преобразователь силы, а В и Г — соответственно в соседних с ним арматурных стержнях 2 и 3. Размеры штраб должны позволять установить на обнаженные участки арматуры датчики деформаций (струнные преобразователи деформаций ПЛДС-ТС-150М-В1 или тензорезисторы). При этом в каждой штрабе на арматуру устанавливают два преобразователя ПЛДС-ТС-150М-В1 (или наклеивают два тензорезистора), ориентированных симметрично нейтральной оси арматурного стержня, с целью исключения при измерениях влияния изгибных деформаций. В связи с этим, на каждом из стержней 1, 2, 3 в начальном состоянии и после проведения каждой операции проводят два измерения текущих значений продольной относительной деформации. Всего производится шесть измерений. При этом каждое измерение обозначается  $\epsilon_{ij_n}$ , где  $i = 1, 2, 3$  — соответствует номеру стержня,  $j = 1, 2$  — соответствует номер измерителя на каждом стержне,  $n = 0, 1, 2, 3$  — соответствует операции, предшествующей измерению. Так,  $n = 0$  соответствует начальному состоянию (после установки датчиков деформации на стержнях). Начальное состояние характеризуется шестью значениями измеренных деформаций:  $\epsilon_{110}, \epsilon_{120}$  — на первом стержне,  $\epsilon_{210}, \epsilon_{220}$  — на втором стержне,  $\epsilon_{310}, \epsilon_{320}$  — на третьем стержне.

Затем на арматурном стержне 1 на расстоянии от штрабы А не менее длины анкеровки образуют штрабу Б, перерезают в ней арматуру (операция 1) и снова измеряют значения продольных относительных деформаций:  $\epsilon_{111}, \epsilon_{121}$  — на первом стержне,  $\epsilon_{211}, \epsilon_{221}$  — на втором стержне и  $\epsilon_{311}, \epsilon_{321}$  — на третьем стержне. Тогда изменения относительной деформации при частичной разгрузке за счет перерезки стержня 1 (после операции 1) для стержней 1—3 соответственно составят:

$$\Delta\epsilon_{11} = \frac{\epsilon_{111} - \epsilon_{110} + \epsilon_{121} - \epsilon_{120}}{2}, \text{ млн}^{-1}; \quad (1)$$

$$\Delta\epsilon_{21} = \frac{\epsilon_{211} - \epsilon_{210} + \epsilon_{221} - \epsilon_{220}}{2}, \text{ млн}^{-1}; \quad (2)$$

$$\Delta\epsilon_{31} = \frac{\epsilon_{311} - \epsilon_{310} + \epsilon_{321} - \epsilon_{320}}{2}, \text{ млн}^{-1}. \quad (3)$$

По величине  $\Delta\epsilon_{i1}$  находят изменения действующих усилий  $N_{i1}$  в стержнях 1—3:

$$\Delta N_{11} = A_S E_S \Delta\epsilon_{11}, \text{ кН}; \quad (4)$$

$$\Delta N_{21} = A_S E_S \Delta\epsilon_{21}, \text{ кН}; \quad (5)$$

$$\Delta N_{31} = A_S E_S \Delta\epsilon_{31}, \text{ кН}; \quad (6)$$

где  $A_S$  — площадь поперечного сечения арматурного стержня,  $\text{см}^2$ ;  $E_S$  — модуль упругости арматурной стали,  $\text{кН/см}^2$ .

Операция 2 заключается в том, что вскрывают бетонный слой между штрабами А и Б с обнажением стержня 1 на глубину защитного слоя плюс двух диаметров арматуры последовательно в зонах I, II, III и IV (см. рис.) до образования единой штрабы. После этого снова измеряют текущие значения продольных де-

формаций  $\varepsilon_{112}$ ,  $\varepsilon_{122}$ ,  $\varepsilon_{212}$ ,  $\varepsilon_{222}$ ,  $\varepsilon_{312}$ ,  $\varepsilon_{322}$ . Изменения относительной деформации при частичной разгрузке, вызванной ликвидацией сил сцепления стержня  $l$  с бетоном (после операции 2), для стержней  $l=3$  соответственно составят:

$$\Delta\varepsilon_{12} = \frac{\varepsilon_{112} - \varepsilon_{111} + \varepsilon_{122} - \varepsilon_{121}}{2}, \text{ млн}^{-1}; \quad (7)$$

$$\Delta\varepsilon_{22} = \frac{\varepsilon_{212} - \varepsilon_{211} + \varepsilon_{222} - \varepsilon_{221}}{2}, \text{ млн}^{-1}; \quad (8)$$

$$\Delta\varepsilon_{32} = \frac{\varepsilon_{312} - \varepsilon_{311} + \varepsilon_{322} - \varepsilon_{321}}{2}, \text{ млн}^{-1}. \quad (9)$$

По  $\Delta\varepsilon_{i2}$  вычисляют изменения действующих в стержнях  $l=3$  усилий  $N_{i2}$ :

$$\Delta N_{12} = A_S E_S \Delta\varepsilon_{12}, \text{ кН}; \quad (10)$$

$$\Delta N_{22} = A_S E_S \Delta\varepsilon_{22}, \text{ кН}; \quad (11)$$

$$\Delta N_{32} = A_S E_S \Delta\varepsilon_{32}, \text{ кН}. \quad (12)$$

После этого, складывая значения  $\Delta N_{i1}$  и  $\Delta N_{i2}$ , получают значение усилия, действовавшее в стержне  $l$  до начала проведения операции и обозначаемое как  $N_{\text{зад}}$

$$N_{\text{зад}} = \Delta N_{11} + \Delta N_{12}, \text{ кН}, \quad (13)$$

а также изменения значений действующих усилий в стержнях  $l=2$  и  $l=3$ :

$$\Delta N_{23} = \Delta N_{21} + \Delta N_{22}, \text{ кН}; \quad (14)$$

$$\Delta N_{33} = \Delta N_{31} + \Delta N_{32}, \text{ кН}. \quad (15)$$

Далее вырезают отрезок обнаженного арматурного стержня необходимой длины и на его место устанавливают преобразователь силы арматурный струнный ПСАС-ТС-Т-2\* соответствующего диаметра. Последовательно с ним устанавливают натяжное устройство в одной из модификаций, приведенных в описании патента [5]. С помощью натяжного устройства воспроизводят в стержне  $l$  усилие  $N_{\text{зад}}$ , контролируя его как датчиками деформации в штрабе А (с пересчетом на усилия), так и установленным преобразователем силы. Одновременно наблюдают за изменением текущих показаний усилий в стержнях  $l=2$  и  $l=3$  и фиксируют их окончательные показания  $\Delta N_{23}$  и  $\Delta N_{33}$  при достижении в стержне  $l$  значения усилия  $N_{\text{зад}}$ .

Математическое ожидание действующего в стержне  $l$  усилия и среднее квадратическое отклонение  $\sigma_N$  определяются по формулам

$$N = \frac{3F_{\text{зад}} + \Delta N_{23} + \Delta N_{33}}{3}, \text{ кН}; \quad (16)$$

$$\sigma_N = \sqrt{\frac{\Delta N_{23}^2 + \Delta N_{33}^2}{2}}, \text{ кН}, \quad (17)$$

где:  $N_{\text{зад}}$  — значения усилия, действовавшее в стержне, в котором устанавливается преобразователь силы, определяемое методом разгрузки, кН;  $\Delta N_{23}$ ,  $\Delta N_{33}$  — изменения значений действующих усилий в стержнях, соседних со стержнем, в котором устанавливается преобразователь силы, после воспроизведения в нем усилия  $N_{\text{зад}}$ , кН.

Разность  $N - N_{\text{зад}}$  рассматривается как абсолютная систематическая погрешность, присущая предложенному способу измерений. В дальнейшем эксплуатационные усилия в арматуре измеряют установленным преобразователем ПСАС-ТС-Т-2\*, прибавляя к наблюдаемому значению указанную систематическую погрешность.

После воспроизведения натяжным устройством усилия  $N_{\text{зад}}$  бетонировать штрабу и в последний раз измеряют текущие значения деформаций  $\epsilon_{113}, \epsilon_{123}, \epsilon_{213}, \epsilon_{223}, \epsilon_{313}, \epsilon_{323}$  и если они существенно отличаются от  $\epsilon_{112}, \epsilon_{122}, \epsilon_{212}, \epsilon_{222}, \epsilon_{312}, \epsilon_{322}$ , то вновь пересчитывают значения  $N$  и  $\sigma$  по формулам (16) и (17).

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Угинус А.А., Бомбчинский В.П. Контрольно-измерительная аппаратура гидротехнических сооружений. Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре. — М., 1954.
- [2] Хейфиц В.З., Марков А.И., Брайцев В.В. Проблемы единства измерений в обеспечении безопасности гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. — 1994. — № 1. — С. 23—24.
- [3] Брайцев В.В., Зиновьев Р.К., Коновалов И.К., Красильников А.М., Северов А.П. Современные средства автоматизированного сбора информации о состоянии энергетических сооружений // Безопасность энергетических сооружений. Вып. 1. ОАО НИИЭС. — М., 1998.
- [4] Патент РФ на изобретение № 2099676 «Способ измерения усилий в рабочей стержневой арматуре железобетонного сооружения», 1997.
- [5] Патент РФ на изобретение № 2191990 «Способ измерения усилий в рабочей стержневой арматуре железобетонного сооружения и устройство для его осуществления (варианты)», 2002.
- [6] Зиновьев Р.К. Модернизация струнных средств измерений для мониторинга безопасности энергетических сооружений // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования». — 2005. — № 2 (12). — С. 64—66.

## METHODS MEASURING OF STRINGED ACTIVITY EFFORTS IN REINFORCEMENT BARS BUILDING OF STEEL CONCRETE

R. Zinovyev

Peoples' Friendship University of Russia  
Mikluho-Maklaja str., 6, Moscow, Russia, 117198

In the article examine problems for perfection of methods measuring of activity efforts in reinforcement bars of operational building of steel concrete in places, where stringed reformers not mounted during process of construction.

**Key words:** methods measuring, activity efforts, stringed reformers.