

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ НАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Канд. техн. наук **М.И. Шейнцвит**,
инженер **Б.Ф. Яновский**
(ФАУ «РОСДОРНИИ»)

Контакт. информация: mostovik@rosdornii.ru

В статье приведены два способа определения напряжений в бетоне железобетонных конструкций мостов по измеряемым деформациям: предусмотренный в нормативном документе способ полной разгрузки «фрагмента» бетона, отделяемого от конструкции, и опубликованный способ неполной разгрузки надрезами бетона для частичного снятия напряжений с установкой дополнительной нагрузки и ее снятием.

Для способа неполной разгрузки предложена методика определения напряжений взамен опубликованной, не имеющей физического смысла и приводящей к неправильному результату.

Ключевые слова: железобетонная балка, напряжения, деформации, разгрузка, датчики, «фрагмент» бетона.

Напрягаемая арматура эксплуатируемых железобетонных пролетных строений мостов выполнена, как правило, в виде пучков из высокопрочных проволок диаметром 5 мм или из семипроволочных канатов (прядей) диаметром 15 мм, реже из дисперсно расположенных проволок или многопроволочных канатов. При этом в цельнопролетных балках стендового (заводского) изготовления пролетами до 33 м бетонирование осуществляют после натяжения арматуры, обеспечивая омоноличивание арматуры и совместную работу с бетоном.

В пролетных строениях, устраиваемых из монолитного бетона или монтируемых из сборных блоков, размещение напрягаемой арматуры в виде пучков из 24-48 проволок диаметром 5 мм или 4-19 семипроволочных канатов диаметром 15 мм возможно следующим образом:

- в закрытых каналах, образованных неизвлекаемыми каналообразователями (как правило, из металлических оболочек);
- в бетонных каналах, образованных извлекаемыми каналообразователями;

- открыто на поверхности плиты.

При этом после натяжения арматуры осуществляют ее омоноличивание с бетоном конструкции путем бетонирования (открыто расположенной арматуры) и инъектирования каналов.

В период изготовления балок на стендах и при строительстве контроль натяжения арматуры выполняют выборочно (в том числе с вскрытием каналов) приборами, размещенными непосредственно на арматурной проволоке или канатах. При этом не все проволоки, канаты, составляющие пучок, можно выделить для проведения измерений на необходимом участке.

Такой метод контроля натяжения арматуры принят и на период эксплуатации моста. Для оценки натяжения всей напрягаемой арматуры его применение имеет косвенный характер и связано с дополнительными затратами из-за необходимости проведения строительных работ по вскрытию и последующему восстановлению каналов.

В период 1989-1992 гг. в НПО «РОСДОРНИИ» (в настоящее время ФАУ «РОСДОРНИИ») был разработан метод определения фактических напряжений в бетоне конструкции на стадии эксплуатации. Метод использовался при обследовании целого ряда мостов на балочных пролетных строениях и пролетных строениях больших пролетов из монолитного бетона, а также на составных по длине пролетных строениях из сборных блоков коробчатого сечения.

Определяемые фактические напряжения в бетоне вызваны воздействием фактической постоянной нагрузки и усилиями напрягаемой арматуры. Напряжения от постоянной нагрузки определяют расчетом по фактическим замерам геометрических параметров конструкций, выполняемых при обследовании мостов.

Выделенная при этом часть напряжений от усилий натяжения напрягаемой арматуры характеризует состояние напрягаемой арматуры путем сопоставления выявленных фактических усилий натяжения арматуры с прогнозируемыми усилиями на период эксплуатации сооружений, рассчитываемыми с учетом прохождения деформаций ползучести и усадки бетона. Учет потерь натяжения от усадки и ползучести бетона рекомендуется выполнять в соответствии с СП 243.1326000.2015 [1]. Согласно указанному документу, для статически неопределимых систем пролетных строений (неразрезных, рамно-неразрезных) следует учитывать дополнительные усилия в конструкциях, возникшие при стадийном монтаже от изменения расчетной схемы и от натяжения арматуры, а

также влияние на изменение этих усилий деформаций усадки и ползучести бетона, прошедших до времени определения напряжений.

Фактические напряжения в бетоне рекомендуется определять в характерных сечениях, где на напряжения влияет вся напрягаемая арматура (для статически определенных систем: разрезных пролетных строений – в средней части пролета; для рамно-консольных пролетных строений с подвесными пролетами – в сечении консоли, где «проходит» вся арматура (но с удалением от опоры), или группа арматурных пучков (для статически неопределимых систем: неразрезных и рамно-неразрезных пролетных строений – в средней части пролета для оценки состояния нижней арматуры, у опоры – для верхней арматуры).

Метод определения напряжений основан на полной разгрузке «фрагмента» бетона с наклеенными тензодатчиками путем его вырезки и снятия с конструкции. При этом отработанная технология вырезки позволяет отделить от конструкции «фрагмент» бетона толщиной до 4 см, т.е. в пределах защитного слоя. После отделения (разгрузки) фрагмента определяют деформации бетона обратного знака, характеризующие его напряжения в конструкции. Определение напряжений в бетоне методом разгрузки предусмотрено ОДМ 218.4.002-2008 [2].

Для «снятия» величины деформаций с тензодатчиков используется прибор с измерением деформаций с точностью $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ относительных единиц. Длина базы измерения датчиков принята не менее 50 мм. Точность измерения напряжений бетона адекватна точности измерения деформаций, составляющей $\pm 3 \cdot 10^{-5}$ относительных единиц.

Для исключения случайных показаний в «точках» измерения устанавливают три дублирующих датчика (одного направления). При определении напряжений модуль упругости бетона E_δ принимают по классу бетона, предусмотренному проектом или определенному натурными измерениями, в соответствии с СП 35.13330.2011 [3].

Для определения напряжений в бетоне по измеренным относительным деформациям используют формулы сопротивления материалов.

При линейном напряженном состоянии (напрягаемая арматура изгибаемого участка балки расположена прямолинейно):

$$\sigma_l = \varepsilon_l \cdot E_\delta \quad . \quad (1)$$

При плоском напряженном состоянии (наличие вертикальных напрягаемых хомутов или отогнутой продольной арматуры):

$$\sigma_1 = \frac{E_b}{1-\mu^2} \cdot (\varepsilon_1 + \mu \cdot \varepsilon_2) ; \quad (2)$$

$$\sigma_2 = \frac{E_b}{1-\mu^2} \cdot (\varepsilon_2 + \mu \cdot \varepsilon_1) , \quad (3)$$

где

μ – коэффициент Пуассона, для бетона $\mu = 0,2$;

ε_1 и ε_2 – измеренные величины относительных деформаций бетона в направлении σ_1 и σ_2 (деформации растяжения вводят со знаком плюс; деформации сжатия – со знаком минус);

σ_1 и σ_2 – главные напряжения по двум взаимно перпендикулярным направлениям (σ_1 – вдоль балки).

В [4] приведено описание метода «частичной разгрузки» для определения искомого (начального) напряжения в бетоне по измеряемым деформациям.

Для выявления уровня «частичной разгрузки» предусмотрена установка дополнительной нагрузки и ее снятие в процессе измерений деформаций (напряжений).

Приведем следующее описание процесса измерения по этапам для определения напряжения (начального) в бетоне σ_n :

1. На балке устанавливается нагрузка P . Тензомером фиксируется приращение напряжения σ_1 .
2. Недалеко от тензометра делается несквозное отверстие или надрез для частичного снятия напряжения. Зависимость напряжения от расстояния до надреза описывается монотонной формулой $\sigma_p(x)$, симметричной относительно надреза и плавно нарастающей от нуля до $\sigma_n + \sigma_p$ (конкретная формула этой функции, как будет ясно из дальнейших рассуждений, значения не имеет). Тензомером фиксируется напряжение σ_2 .
3. Нагрузка P снимается. Тензомером фиксируется напряжение σ_3 .

Предположив, что $\sigma_p(x)$ отличается от $\sigma_n(x)$ только масштабным коэффициентом K , т.е. $\sigma_p(x) = K\sigma_n(x)$, и учитывая, что σ_3 имеет обратный знак, построим систему уравнений:

$$\begin{cases} \sigma_n + \sigma_1 = K\sigma_n \\ \sigma_n + \sigma_2 = K(\sigma_n + \sigma_3) \end{cases} .$$

Решая эту систему, получаем:

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 \cdot \sigma_3}{\sigma_2 - \sigma_3 - \sigma_1} .$$

Приведенные в статье формулы получены из рассуждений (предположений), не учитывающих физического смысла выполненных измерений. В результате полученная формула определения напряжений в бетоне, названных начальными, σ_n – не соответствует физическому смыслу. Это видно из граничных условий определения σ_n : при полной разгрузке измеряемая σ_2 (с обратным знаком) будет равна $\sigma_n + \sigma_1$, т.е. начальным напряжениям в бетоне и напряжениям от нагрузки P , при этом от снятия нагрузки P (воздействия обратного знака установленной нагрузки P) $\sigma_3 = 0$, так как датчик полностью разгружен и не может воспринимать каких-либо воздействий на балку.

Таким образом, по приведенной формуле при $\sigma_3 = 0$, $\sigma_n = 0$ – что не соответствует действительности.

Исходя из физического смысла толкования полученных измерений, искомое σ_n получили из следующего уравнения:

$$\sigma_2 = \beta(\sigma_n + \sigma_1) ,$$

где

β – коэффициент, характеризующий степень разгрузки (с учетом знаков напряжений). При полной разгрузке $\beta = 1$.

Измеренное напряжение σ_3 (от снятия нагрузки P) при полной разгрузке будет равно нулю, при отсутствии разгрузки $\sigma_3 = \sigma_1$, а при частичной разгрузке:

$$\sigma_3 = \alpha \sigma_1 ,$$

где

α – коэффициент доступности измерений, равный $\frac{\sigma_3}{\sigma_1}$ (σ_3 и σ_1 – в абсолютных величинах без учета знаков).

То есть до разгрузки в месте измерения напряжения составляли $\sigma_n + \sigma_1$, после разгрузки (устройства прорезей) сохранилась часть напряжений, равная β , а оставшаяся часть напряжений, равная $\alpha = 1 - \beta$ «ушла» в результате частичной нагрузки. Поэтому часть напряжений в бетоне от нагрузок, прилагаемых к конструкции и доступных для измерения тензометром при наличии «разгружающих» прорезей, будет составлять также величину α .

Таким образом, из приведенного уравнения искомое σ_n определяется по формуле (с учетом знаков напряжения):

$$\sigma_n = \frac{\sigma_2}{\beta} - \sigma_1 ,$$

где

$$\beta = 1 - \frac{\sigma_3}{\sigma_1} .$$

При практическом использовании метода «частичной разгрузки» рекомендуется отделять участок измерения деформаций на бетоне прорезями с достижением наибольшей степени разгрузки.

Для повышения достоверности измерений используемая дополнительная нагрузка должна иметь по возможности наибольшую величину.

Недостатки рассмотренного метода частичной разгрузки заключаются в необходимости нарушения условий движения транспорта из-за установки дополнительной нагрузки, а также в снижении точности определения напряжений в бетоне относительно метода полной разгрузки «фрагмента» бетона.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 243.1326000.2015. Проектирование и строительство автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения / ФАУ «РОСДОРНИИ» Минтранса России. – Введ. в действие 01.12.2015. – 116 с.
2. ОДМ 218.4.002-2008. Руководство по проведению мониторинга состояния эксплуатируемых мостовых сооружений. – Утв. Распоряжением Росавтодора от 24 июня 2008 г. N 261-р. – 25 с.
3. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* / Министерство регионального развития Российской Федерации. – Введ. 20.05.2011. – 435 с.
4. Хазанов М.Л. Измерение начальных напряжений в строительных конструкциях методом частичной разгрузки / М.Л. Хазанов // Транспортное строительство. – 2012. – №8. – С. 5-6.

LITERATURA

1. SP 243.1326000.2015. Projektirovanie i stroitel'stvo avtomobil'nyh dorog s nizkoj intensivnost'ju dvizhenija / FAU «ROSDORNII» Mintransa Rossii. – Vved. v dejstvie 01.12.2015. – 116 s.
2. ODM 218.4.002-2008. Rukovodstvo po provedeniju monitoringa sostojanija jekspluatiruemyh mostovyh sooruzhenij. – Utv. Rasporjazheniem Rosavtodora ot 24 ijunja 2008 g. N 261-r. – 25 s.
3. SP 35.13330.2011. Mosty i truby. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.05.03-84* / Ministerstvo regional'nogo razvitija Rossijskoj Federacii. – Vved. 20.05.2011. – 435 s.
4. Hazanov M.L. Izmerenie nachal'nyh naprjazhenij v stroitel'nyh konstrukcijah metodom chastichnoj razgruzki / M.L. Hazanov // Transportnoe stroitel'stvo. – 2012. – №8. – S. 5-6.

**CONDITION ASSESSMENT OF PRESTRESSING STEEL OF
REINFORCED CONCRETE STRUCTURES DURING OPERATION**

*Ph. D. (Tech.) M.I. Sheinzvit,
Engineer B.F. Yanovskiy
(FAI «ROSDORNII»)*

Contact information: mostovik@rosdornii.ru

The article deals with two methods for stresses calculation in concrete of reinforced concrete bridge structures by appreciable strains: stipulated by regulatory document the method for total unloading of concrete «fragment» detached from the structure, as well as the reported method of incomplete unloading by concrete cutting for partial unstressing with additional loading and its unloading.

For the method of incomplete unloading the procedure of stresses calculation instead of that one, reported earlier, which has no physical meaning and brings incorrect results, is proposed.

Key words: *reinforced concrete beam, stresses, strains, unloading, gauges, concrete «fragment».*

Рецензент: д-р техн. наук В.И. Шестериков (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 20.07.2016 г.