



УДК 624.04 (075.8)

© Колобов А. А., Тряпицын Ю. В., 2011

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕНЗОМЕТРА В ЖЕЛЕЗОБЕТОНЕ

Колобов А. А. – студент института транспортного строительства; *Тряпицын Ю. В.* – канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительная механика», тел. 40-76-02, e-mail: TryapitsinYV@mail.ru (ДВГУПС)

Разработана методика интерпретации показаний датчиков деформации (тензометров), используемых при мониторинге напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций (колонн) высотных зданий, заключающаяся в приведении показаний датчиков деформаций к усилиям в бетоне и в арматуре. Простейшая теоретическая модель хорошо согласуется для упругих задач с результатами конечно-элементного моделирования и данными эксперимента. Установлено, что критерием предельного состояния конструктивных элементов является разрушение датчика, а предаварийным состоянием является появление пластических деформаций в датчике, что сопровождается расхождением в показаниях приборов, подключенных к датчику и значениях, рассчитанных по теоретической модели (или конечно-элементной модели) и образованием продольных трещин вдоль арматуры.

The interpretation technique of strain gauge records used in monitoring stressed deformed state of reinforced concrete constructions (pillars) of high buildings is developed. The technique consists in reduction of gauge data to forces in concrete and reinforcement. It is found that the gauge destruction is a criterion for a critical condition of construction components and plastic strains within gauge indicate a pre-emergency state, accompanied by longitudinal crack development across reinforcement and the difference between the gauge records and the data predicted by a theoretical model.

Ключевые слова: тензометр, мониторинг, железобетон.

В настоящее время в промышленном и гражданском строительстве существует задача контроля проектных значений усилий в элементах стержневых систем железобетонных конструкций высотных зданий.

Из-за неравномерных осадок здания, ошибок проектирования и нарушения технологии возведения здания отмечается расхождение между фактиче-

ским и проектным распределением усилий между элементами конструкции здания.

Для предотвращения разрушения элементов здания и для своевременного принятия мер по предотвращению их разрушения используются датчики деформаций – тензометры. Но интерпретация показаний этих датчиков различна. Поэтому необходимо разработать методику оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) элемента конструкции по показаниям датчиков в зависимости от процента армирования.

При этом могут быть решены прямая и обратная задачи: оценка общего НДС здания как конструкции в целом и контроля НДС отдельных стержневых элементов через определение усилий в арматуре.

Существует теоретическое решение задачи расчета усилий в арматуре и бетонной матрице железобетонного элемента как статически неопределимой системы [1].

Для исследования принят фрагмент железобетонной колонны 20х20х40 см с замоноличенным тензометром, который измеряет деформации в бетоне и усилия в арматуре. Оценка работы тензометра выполнялась тремя способами:

1. Теоретическая модель работы арматуры в бетоне.
2. Испытание железобетонного элемента на одноосное сжатие (рис. 1, а).
3. Конечно-элементное моделирование работы тензометра в рассматриваемом фрагменте конструкции (рис. 1, б).

Теоретическая модель работы арматуры в бетоне

Пусть железобетонная стойка сжимается центрально приложенной силой N . Стойка квадратного сечения со стороной квадрата $a = 20$ см. Требуется определить усилие в бетоне и арматуре. Задача решается в линейной постановке.

В исследовании варьировались: модуль упругости бетона (для учета ползучести), E (бетона) = 0,6х38000÷38000 МПа, процент армирования, % арм. = 0–10 %, и внешняя нагрузка – продольная сила в элементе, $N = 0–10$ т. Модуль упругости арматуры, E (арматуры) принят равным 210000 МПа.

Составим уравнение равновесия:

$$\sum Y = 0, N(\text{бетона}) + N(\text{арматуры}) = N, \quad (1)$$

где: N (бетона), т – часть усилия N в колонне, воспринимаемая бетоном; N (арматуры) – часть усилия в колонне, воспринимаемая арматурой.

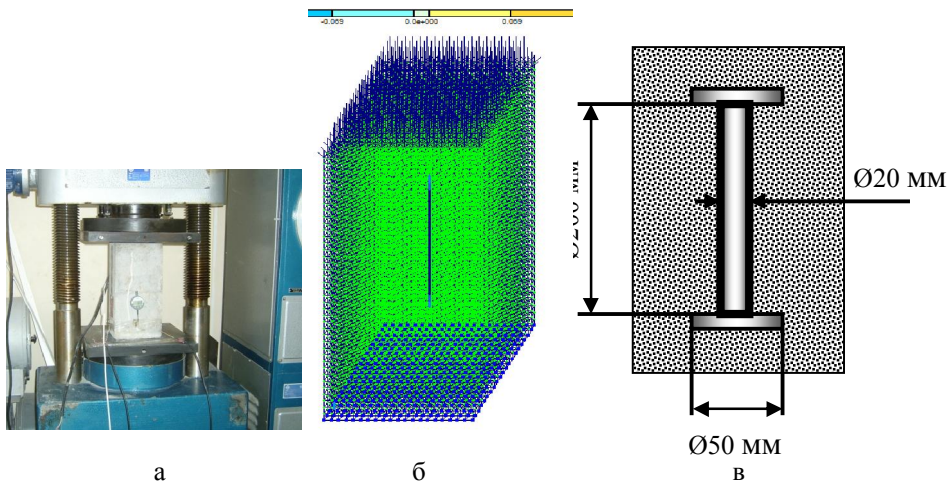


Рис. 1. Натурные испытания и конечно-элементная модель фрагмента железобетонной колонны с замоноличенным тензосметром: а – фрагмент колонны с тензосметром; б – конечно-элементная модель тензосметра в бетоне; в – схема заделки тензосметра в бетон

Переходим к составлению уравнения совместности деформации. Так как арматура соединена с бетоном в одно целое, то деформации бетона и арматуры должны быть одинаковы:

$$\varepsilon(\text{бетона}) = \varepsilon(\text{арматуры}) . \quad (2)$$

Или:

$$\frac{N(\text{арматуры})}{A(\text{арматуры}) \cdot E(\text{арматуры})} = \frac{N(\text{бетона})}{A(\text{бетона}) \cdot E(\text{бетона})} ,$$

где: A, E – площадь сечения и модуль упругости арматуры, бетона и железобетона.

Совмещая уравнения (1)–(2) в систему, получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} N(\text{арматуры}) = \frac{N(\text{бетона}) \cdot A(\text{аматуры}) \cdot E(\text{арматуры})}{A(\text{бетона}) \cdot E(\text{бетона})} \\ N = N(\text{арматуры}) + N(\text{бетона}) \end{array} \right\} \quad (3)$$

Из системы уравнений (3) получены зависимости:

$$N(\text{бетона}) = \frac{N}{\left(\frac{A(\text{арматуры}) \cdot E(\text{арматуры})}{A(\text{бетона}) \cdot E(\text{бетона})} + 1 \right)} \quad (4)$$

$$N(\text{арматуры}) = \frac{N}{1 + \frac{A(\text{арматуры}) \cdot E(\text{арматуры})}{A(\text{бетона}) \cdot E(\text{бетона})}} \quad (5)$$

По формулам (4)–(5) построены графики усилия в бетоне и арматуре в зависимости от процента армирования и усилия в стержне соответственно: $N(\text{бетона}) = f(\% \text{ армирования}, N)$ и $N(\text{арматуры}) = f(\% \text{ армирования}, N)$, которые показывают нелинейную зависимость между ними (рис. 2).

Для приближенного учета ползучести построены две поверхности $N(\text{бетона}) = f(\% \text{ армирования}, N)$ при различном модуле упругости: $E = 38000$ МПа и $E = 38000 \cdot 0,6 = 22800$ МПа (рис. 2, а), который учитывает ползучесть бетона, согласно СНиП [2].

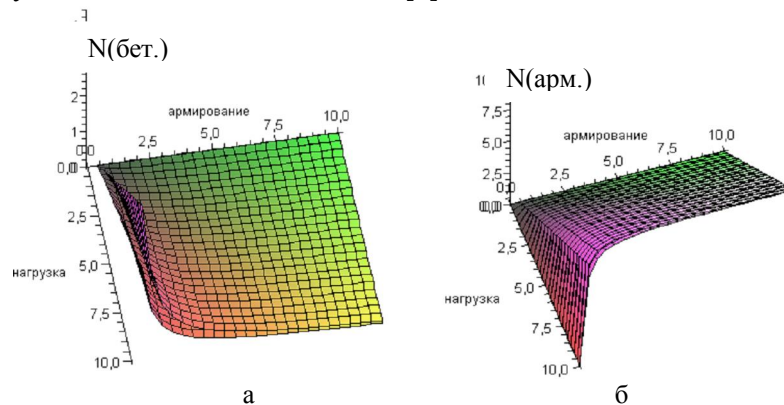


Рис. 2. Графики усилия в бетоне и арматуре в зависимости от процента армирования и усилия в стержне:

а – $N(\text{бетона}) = f(\% \text{ армирования}, N)$; б – $N(\text{арматуры}) = f(\% \text{ армирования}, N)$

В приведенной зависимости могут быть решены две задачи мониторинга:

1. Прямая задача: получение контрольных значений усилия в арматуре (тензометре) при известном (проектном) значении продольной силы в колонне по формуле (5).

Между усилием в арматуре и усилием в тензометре существует связь:

$$\frac{N(\text{арматуры})}{A(\text{арматуры})} = \frac{N(\text{тенз})}{A(\text{тенз})}$$

Откуда:

$$N(\text{тенз}) = \frac{N(\text{арматуры}) \cdot A(\text{тенз})}{A(\text{арматуры})}$$



где: A (тенз) – площадь поперечного сечения рабочей зоны тензометра;
 N (арматуры) – значение усилия в арматуре, рассчитанное по формуле (5).

Выведенная формула необходима для контроля показаний тензометра.

2. Обратная задача. По усилию в тензомере определяется действующее усилие в арматуре (при заданном проценте армирования), через которое определяется усилие в стержне колонны:

$$N(\text{факт.арм}) = N(\text{факт.тенз}) \cdot \frac{A(\text{арматуры})}{A(\text{тенз})}.$$

Откуда можно найти:

$$N(\text{факт}) = N(\text{факт.арматуры}) \cdot \left(\frac{A(\text{бетона}) \cdot E(\text{бетона})}{A(\text{арматуры}) \cdot E(\text{тенз})} + 1 \right).$$

После определения фактических усилий выполняется анализ НДС здания в целом. После анализа вырабатываются рекомендации по обеспечению несущей способности конструкции здания в целом.

Конечно-элементное моделирование работы тензометра в рассматриваемом фрагменте конструкции

Общий вид конечно-элементной модели фрагмента железобетонной колонны представлен на рис. 1. Бетонная матрица моделировалась объемными конечными элементами с характеристиками: модуль упругости $E = 38000$ МПа (определен по скорости ультразвука во фрагменте прибором «Пульсар 1.1» и по замеренным продольным деформациям при натурном испытании); коэффициент Пуассона принят равным 0,2. Тензометр моделировался стержневым конечным элементом с характеристиками: модуль упругости E (тенз.) = E (арм.) = 210000 МПа; площадь поперечного сечения A (тенз.) = 0,304 см².

Испытание железобетонного элемента на одноосное сжатие

Для испытания изготовлен образец размерами 20x20x40 см с замоноличенным тензомером (рис.1 а, в). Для измерения продольных деформаций на образец установлены индикаторы перемещений (мессуры).

Для оценки достоверности полученной теоретической и принятой конечно-элементной моделей проведены натурные испытания и расчеты, результаты которых сведены в таблицу.

Анализ таблицы показывает, что теоретическая модель и конечно-элементная модель адекватно отражают данные эксперимента и могут использоваться в дальнейшем для решения задач контроля напряженно-деформированного состояния элементов конструкций. Расхождения между значениями линейной экстраполяции и экспериментальными данными (при усилении



в стержне 40–60 т) обусловлены появлением пластических деформаций в железобетоне и тензометре.

Таблица

Результаты теоретических расчетов, конечно-элементного моделирования и натурных испытаний фрагмента колонны

Нагрузка, N, т	Усилие в тензометре, N _{тенз} , т					
	Процент армирования, %	Теоретическая модель	КЭМ	Эксперимент по вычисленным деформациям	Усилие по мессурам	Эксперимент по версому терминулу ТВ.005
10	0,076	0,042	0,041	0,040	0,038	0,026
20		0,084	0,083	0,074	0,076	0,074
30		0,126	0,124	0,111	0,133	0,117
40		0,168	0,165	0,151	0,200	0,156*
60		0,252	0,248	0,185	0,276	0,234*

Примечание: * – значения, полученные путем линейной экстраполяции

Заклучение

Разработана методика контроля НДС железобетонный конструкций (колонн) высотных зданий по показаниям тензометров.

Установлено, что критерием предельного состояния конструктивных элементов является разрушение датчика, а предаварийным состоянием следует считать появление пластических деформаций в датчике, что сопровождается расхождением в показаниях приборов, подключенных к датчику и значениях, рассчитанных по теоретической модели (или КЭ-модели) и образованием продольных трещин вдоль арматуры.

Библиографические ссылки

1. С. Н. Никифоров. Сопротивление материалов / Под ред. М. М. Филоненко-Бородича. – Л.: 4-я тип. ОНТИ НКТП СССР «Красный Печатник», 1936.
2. СП 52-103-2007. Железобетонные монолитные конструкции зданий. – М.: Госстрой России, 2007.