

СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С ТРЕЩИНАМИ

Наведено порівняння даних експериментів за визначенням частот власних коливань залізобетонних балок із тріщинами з результатами розрахунку за методикою, заснованою на чисельно-аналітичному варіанті МГЕ із застосуванням діаграм деформації перерізів, побудованих за допомогою СНиП 2.01.03-84 і за пропозиціями І.Є. Прокоповича.*

Comparison of these experiments is resulted on determination of frequencies of eigentones of reinforce-concrete beams with cracks with the results of calculation on a method, to based on the numeral-analytical variant of MSE with the use of diagrams of deformation of sections, built by SNiP 2.01.03-84 and on proposals of I.E. Prokopovich.*

Приведено сравнение данных экспериментов по определению частот собственных колебаний железобетонных балок с трещинами с результатами расчета по методике, основанной на численно-аналитическом варианте метода граничных элементов с применением диаграмм деформирования сечений, построенных с помощью СНиП 2.01.03-84 и по предложениям И.Е.Прокоповича.*

Ключевые слова: частота собственных колебаний, неразрезная железобетонная балка, достоверность результатов, деформирование.

Постановка проблемы. При расчете несущей способности неразрезных железобетонных балок, а также целого ряда других железобетонных конструкций, расчете конструкций на динамические и ударные воздействия учитывается жесткость железобетонных элементов, которая является переменной как при различном значении нагрузок, так и по длине элемента. В связи с этим достоверность полученных решений зависит от достоверности принятых значений жесткостей сечений.

Анализ отдельных исследований и публикаций. В работе [7] была предложена расчетная модель неразрезных железобетонных балок, позволяющая определять значения частот и форм собственных колебаний. В работе [6] было рассмотрено применение методики, основанной на предложениях И.Е. Прокоповича, а также показано, что она позволяет достоверно описывать процессы деформирования сечений.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. На данный момент не существует достаточно простой и в то же время надежной методики определения частот собственных колебаний конструкций, свойства которых не отличаются стабильностью и могут изменяться во времени, в частности железобетонных конструкций.

Формулирование цели статьи. Целью работы является проверка достоверности результатов, получаемых при использовании численно-аналитического варианта метода граничных элементов (МГЭ) для динамического расчета железобетонных конструкций с учетом процессов трещинообразования.

Изложение основного материала исследования. В работах [1], [2] Т.Ж. Жунусов приводит методику и результаты экспериментальных исследований колебаний железобетонных балок с трещинами, проводимых в КазпромстройНИИпроект.

В качестве опытных образцов были изготовлены балки прямоугольного сечения с расчетным пролетом 4 м из бетона класса В27,5 (М350). На рис. 1 и рис. 2 приведены схема армирования, а также поперечное сечение опытных балок.

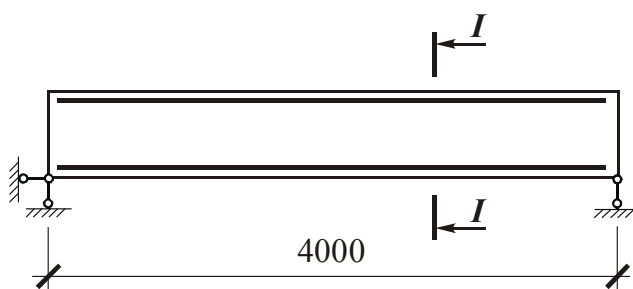


Рис. 1. Схема армирования опытных балок

Был принят следующий порядок испытаний опытных балок. Легким ударом по балке вызывались ее свободные колебания. После снятия нулевого отсчета по всем измерительным приборам балка нагружалась статически равными ступенями (500 кг – *I* цикл, 1000 кг – *II* цикл, 1500 кг – *III* цикл и т.д.). На каждом из циклов загрузки регистрировались собственные колебания балки с грузом.

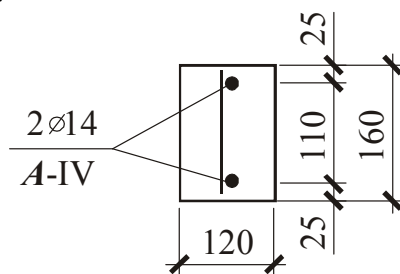


Рис. 2. Поперечное сечение I-I опытных балок

На рис. 3 приведена расчетная схема загрузки опытных балок.

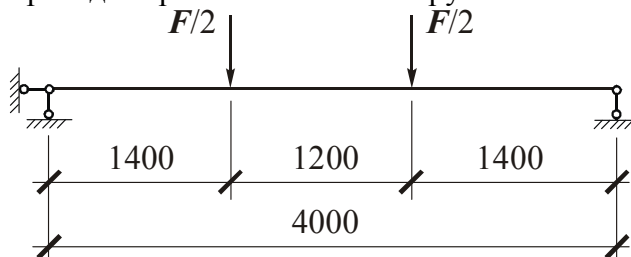


Рис. 3. Расчетная схема загрузки опытных балок

Учет сосредоточенных масс на каждом из циклов загрузки предлагается производить путем приведения их к эквивалентной распределенной массе по формуле [5]

$$m_* = m + \frac{\sum_{i=1}^n M_i v^2(a_i)}{\int_0^l v^2(x) dx}, \quad (1)$$

где m – равномерно распределенная масса;

M_i – i -ая сосредоточенная масса, равная приложенной нагрузке;

a_i – координата i -ой сосредоточенной массы;

$v(x)$ – кривая упругой линии стержня при колебаниях.

В процессе деформирования железобетонных элементов, в результате трещинообразования, жесткость сечений изменяется, становясь переменной по длине. В связи с этим, достоверность полученных решений зависит от достоверности принятого значения жесткости.

Расчетная схема МГЭ однопролетной железобетонной балки переменной жесткости с грузом приведена на рис. 4.

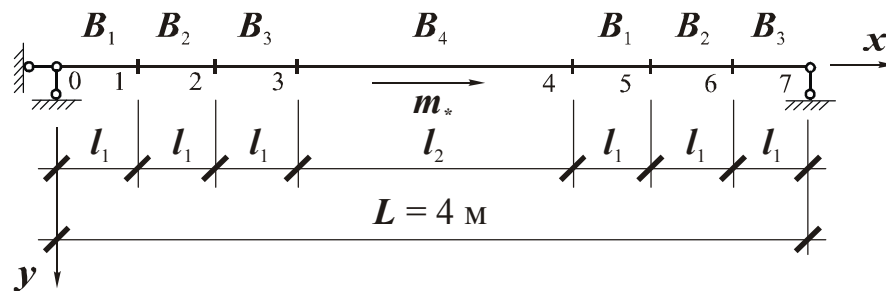


Рис. 4. Расчетная схема МГЭ

В системе компьютерной математики MATLAB создана программа, позволяющая определять значения частот собственных колебаний железобетонных балок переменной жесткости.

Программа позволяет создавать массивы значений изгибающих моментов и соответствующих им кривизн и жесткостей, определенных по методике СНиП 2.01.03-84* [4] и по методике с использованием предложений И.Е. Прокоповича [3].

В соответствии со СНиП на участках, где в растянутой зоне образуются нормальные к продольной оси элемента трещины, кривизна изгибаемых железобетонных элементов без предварительного напряжения определяется формулой

$$\frac{1}{r} = \frac{M \psi_s}{z A_s E_s (h_0 - x)}, \quad (2)$$

где $M, \psi_s, z, A_s, E_s, h_0, x$ – определяются в соответствии с [4].

В работе [3] И.Е. Прокоповичем приведено выражение для определения жесткости сечения элемента с ненапрягаемой арматурой с учетом

трещинообразования в растянутой зоне под действием кратковременной загрузки

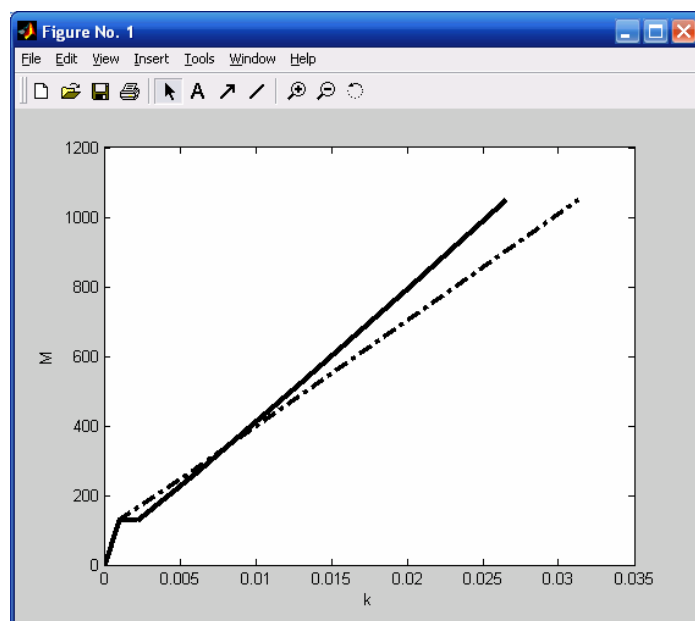
$$B_g = E_b A_b h_0^2 \sqrt{\mu n_1 K}, \quad (3)$$

где $E_b, A_b, h_0, \mu, n_1, K$ – определяются в соответствии с [3].

Кривизну железобетонного изгибаемого элемента на всех стадиях работы можно определить из физического уравнения

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{B_g}. \quad (4)$$

На рис. 5 приведены диаграммы «изгибающий момент – кривизна», определенные по методике СНиП 2.01.03-84* и по методике с использованием предложений И.Е. Прокоповича.



— - значения по формуле И.Е.Прокоповича
 - - - - - значения по формулам СНиП 2.03.01-84*

Рис. 5. Зависимость «изгибающий момент – кривизна»

Диаграмма, построенная по методике СНиП 2.01.03-84*, состоит из двух участков: участок упругой работы элемента и участок работы элемента с трещинами в растянутой зоне.

Диаграмма, построенная по методике с использованием предложений И.Е. Прокоповича, состоит из трех участков: участок упругой работы элемента, участок при $M = M_{crc}$, соответствующий интенсивному трещинообразованию, при котором без увеличения изгибающих моментов увеличивается кривизна, и участок работы элемента с трещинами.

В работе [6] было рассмотрено применение методики, основанной на предложениях И.Е. Прокоповича, а также показано, что она позволяет более достоверно описывать процессы деформирования сечений.

На основании рассматриваемых диаграмм «изгибающий момент – кривизна» определяются значения частот собственных колебаний железобетонных балок.

В таблице 1 сведены результаты экспериментальных данных, а также результаты расчетов железобетонных балок на каждом из циклов загрузки при использовании каждой из рассматриваемых методик.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных и теоретических исследований

Номер загрузки	Распределенная масса балки, $\text{кГс}^2/\text{м}^2$	Изгибающий момент, кГм	Жесткость по формулам СНиП, кГм^2	Жесткость по методике И.Е.Прокоповича, кГм^2	Кривизна по формулам СНиП, $1/\text{м}$	Кривизна по методике И.Е.Прокоповича, $1/\text{м}$	Частота собственных колебаний, Гц				
							Опытная	По методике СНиП	% расхождения	По методике И.Е.Прокоповича	% расхождения
I	24,65	87,5	123768,5	123768,5	0,0007	0,0007	4,08	4,13	+1,2	4,08	0
		175,0	66504,14	48855,44	0,0026	0,0036					
		262,5	47353,83	43510,64	0,0053	0,0060					
		350,0	41549,7	41639,96	0,0084	0,0084					
II	44,5	175,0	66504,14	48855,44	0,0026	0,0036	2,70	2,79	+3,3	2,75	+1,8
		350,0	41549,7	41639,96	0,0084	0,0084					
		525,0	37070,97	40303,76	0,0142	0,0130					
		700,0	35191,52	39836,09	0,0198	0,0176					
III	64,3	262,5	47353,83	43510,64	0,0053	0,0060	2,38	2,26	-5,0	2,44	+2,5
		525,0	37070,97	40303,76	0,0142	0,0130					
		787,5	34607,03	39709,53	0,0227	0,0198					
		1050,0	33502,12	39502,04	0,0313	0,0266					

Выводы и перспективы дальнейших исследований

1. Значения частот собственных колебаний железобетонных балок с учетом их переменной жесткости в результате трещинообразования, определенные с помощью численно-аналитического варианта МГЭ с применением диаграмм деформирования сечений, основанных на предложениях И.Е. Прокоповича, хорошо совпадают с экспериментальными данными.

2. Применение методики определения жесткостей железобетонных изгибаемых элементов в процессе трещинообразования, основанной на предложениях И.Е. Прокоповича, позволяет добиться быстрой сходимости процесса определения частот собственных колебаний.

Литература

1. Жунусов Т.Ж. Действие кратковременных нагрузок на железобетонные изгибаемые элементы / Т.Ж. Жунусов // Бетон и железобетон. – 1966. – № 5. – С. 44–47.
2. Жунусов Т.Ж. Прочность и жесткость железобетонных балок при действии нагрузок типа сейсмических / Т.Ж. Жунусов, Н.А. Колесников // Исследования сейсмостойкости сооружений и конструкций. – Алма-Ата, 1967. – Вып. 1 (9). – С. 136–153.
3. Прокопович И.Е. Прикладная теория ползучести / И.Е. Прокопович, В.А. Зедгенидзе. – М.: Стройиздат, 1980. – 240 с.
4. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: ЦИТП Госстроя РФ, 1996.
5. Оробей В. Ф. Решение задач статики, динамики и устойчивости стержневых систем. Применение метода граничных элементов / В.Ф. Оробей, А.В. Ковров. – Одесса, 2004. – 122 с.
6. Ковров А.В. К анализу закономерностей деформирования сечений неразрезных железобетонных балок / А.В. Ковров, Р.Э. Чайковский, Т.А. Синюкина // Вісник ОАБА. – Одеса, 2007. – № 27. – С. 178–183.
7. Ковров А.В. Определение частот собственных колебаний мостов с неразрезными пролетными строениями / А.В. Ковров, Р.Э. Чайковский // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА. ХОТВАБУ, 2007. – № 43. – С. 134–138.

Надійшла до редакції 21.01.2009

© Р.Є. Чайковский