

УДК 620.179.14

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ АРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ НА ЕЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ

¹Акатьев В.А., ²Нигметов Г.М., ¹Нигметов Т.Г.¹ФГБОУ ВПО «Российский государственный социальный университет»,
Москва, e-mail: Akatiev07@mail.ru;²ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций», Москва

Проведен анализ влияния степени армирования железобетонных балок на их амплитудно-частотные характеристики. При этом экспериментальным исследованиям были подвергнуты армированные и неармированные балки, имеющие одинаковые поперечные сечения и длины. Одна группа образцов была изготовлена из бетона марки 150, другая группа – из бетона марки 300. Экспериментальные результаты были сопоставлены с результатами расчетов по действующим методикам. Выявлена значительная разница между экспериментальными и расчетными показателями. Степень снижения периода собственных колебаний балки с увеличением степени армирования по данным эксперимента значительно выше, чем по расчетным оценкам с использованием методик.

Ключевые слова: поперечные собственные колебания, балка, армирование, амплитудно-частотная характеристика, период колебаний балки

INFLUENCE OF EXTENT OF REINFORCING OF THE FERROCONCRETE BEAMS ON ITS AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTIC

¹Akatiev V.A., ²Nigmatov G.M., ¹Nigmatov T.G.¹Russian State Social University, Moscow, e-mail: Akatiev07@mail.ru;²The All-Russian research institute on problems of civil defense and emergency situations, Moscow

The analysis of influence of extent of reinforcing of ferroconcrete beams on their amplitude-frequency characteristics is carried out. Thus the reinforced and not reinforced beams having identical cross sections and lengths were subjected to pilot studies. One group of samples was made of brand 150 concrete, other group – of brand 300 concrete. Experimental results were compared with results of calculations for the operating techniques. The considerable difference between experimental and settlement indicators is revealed. Extent of decrease in the period of fluctuations of a beam with increase in extent of reinforcing according to experiment is much higher, than by settlement estimates with use of techniques.

Keywords: cross own fluctuations, beam, reinforcing, amplitude-frequency characteristic, period of fluctuations of a beam

В существующей научно-технической литературе и методических документах должным образом не нашли отражение вопросы учета влияния армирования железобетонных конструкций на их жесткость и, как следствие, на их колебательную способность. Результаты анализа показывают, что при одинаковых длинах, сечениях и прочностных характеристиках бетонные и железобетонные балки имеют разный частотный портрет колебаний, что говорит о влиянии армирования на динамику балок. Определение нормативного (проектного) значения периода собственных колебаний железобетонных конструкций и периода собственных колебаний при эксплуатации даёт возможность диагностировать изменение их жесткости $E \cdot J$ в момент времени контроля t .

Постановка задачи исследования

Свободные колебания балки описываются известным дифференциальным уравнением [1, 2, 3]:

$$\frac{EJ}{\rho} \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0. \quad (1)$$

Решение дифференциального уравнения (1) для балки дает следующую зависимость для периода собственных колебаний:

$$T_1 = \frac{l^2}{\pi^2} \sqrt{\frac{m}{EJ}}, \quad (2)$$

где l – длина балки, м; m – масса погонного метра балки, кг/м; E – модуль упругости, Н/м²; J – момент инерции сечения балки, м⁴.

Требуется решить следующие задачи. Вначале определить расчетные значения периодов собственных колебаний балок

с учетом их армирования по формуле (2), затем значения тех же параметров (отдельно для армированных и неармированных балок) получить в результате экспериментального исследования. На конечном этапе полученные результаты сопоставить между собой.

Характеристика образцов, использованных для исследования

Для анализа колебаний были отобраны бетонные (неармированные) и железобетонные образцы (2 бетонные и 2 железобетонные балки) длиной по 1 м, изготовленные из бетона марки М-150 и М-300 и имеющие прямоугольное поперечное сечение шириной 80 мм и высотой 140 мм. Железобетонные балки по нижней зоне сечения армированы двумя стальными стержнями диаметром 12 мм, защитный слой бетона равен 10 мм.

Теоретическая оценка влияния армирования и прочности на динамические колебания железобетонных балок

Момент инерции прямоугольного сечения бетонной балки относительно центральной оси вычислим по известной формуле:

$$J = \frac{bh^3}{12} = \frac{0,08 \cdot 0,14^3}{12} = 1,83 \cdot 10^{-54} \text{ м}^4,$$

где b – ширина сечения балки, м; h – высота сечения балки, м.

Момент инерции сечения железобетонной балки ($J_{\text{прив}}$) определим как приведенный момент инерции с армированием – с учетом всей площади сечения бетонной балки и площадей сечения арматуры с учетом коэффициентов приведения арматуры к бетону [4]:

$$J_{\text{прив}} = J + J_s \alpha, \quad (3)$$

где J_s – момент инерции площади сечения растянутой арматуры в нижней зоне относительно центра тяжести приведенного поперечного сечения определяется по формуле:

$$J_{\text{спас}} = A_s \cdot (h_0 - y_c)^2; \quad (4)$$

y_c – расстояние от центра тяжести сечения до наиболее растянутого волокна ($y_c = 0,07$ м); h_0 – рабочая высота сечения балки; α – коэффициент приведения арматуры к бетону, $\alpha = E_s/E_b$.

Для марок бетона М-150 и М-300 и стальной арматуры сформируем исходные данные для последующего расчета моментов инерции:

модуль упругости, E , МПа:

$$E_{150} = 21 \cdot 10^3, \quad E_{300} = 30 \cdot 10^3, \quad E_s = 2 \cdot 10^5;$$

плотность, ρ , кг/м³:

$$\rho_{150} = 2460, \quad \rho_{300} = 2389, \quad \rho_s = 7850;$$

коэффициент приведения арматуры к бетону:

$$\alpha_{150} = 9,52, \quad \alpha_{300} = 6,67.$$

С учетом приведенных исходных выполним вычисления моментов инерции сечения железобетонных балок:

$$J_{s150} = J + J_{\text{спас}} \cdot \alpha = 1,83 \cdot 10^{-5} + 0,000000463 \cdot 2 \cdot 9,52 = 2,7 \cdot 10^{-5};$$

$$J_{s300} = J + J_{\text{спас}} \cdot \alpha = 1,83 \cdot 10^{-5} + 0,000000463 \cdot 2 \cdot 6,67 = 2,45 \cdot 10^{-5}.$$

Найдем отношения моментов инерции для сечений балок с армированием и без армирования:

$$J_{s150}/J = 2,7/1,83 = 1,475;$$

$$J_{s150}/J = 2,45/1,83 = 1,34.$$

Тогда можно вычислить отношение периодов собственных колебаний балок с армированием и без армирования для бетона марок 150 и 300:

$$T_{1,150s}/T_{1,150} = 0,82;$$

$$T_{1,300s}/T_{1,300} = 0,86.$$

Экспериментальные измерения динамических колебаний балок

Эксперименты выполнялись с помощью комплексов для динамических испытаний «Струна-Стрела» и «Толкун-1» с применением пьезокерамических акселерометров типа А1638 в частотном диапазоне от 0,1 до 400 Гц. Общий вид на образцы и приборы контроля, подготовленные к эксперименту, представлены на рис. 1.

Спектры колебаний балок представлены на рис. 2 и 3.

Из анализа спектров колебаний балок из бетона марки М-300 можно определить экспериментальные значения периодов собственных колебаний ($T_6 = 0,012$ с – для армированной; $T_6 = 0,042$ с – для неармированной) и оценить их отношения ($T_6/T_{жб} = 3,50$). Значения периодов собственных колебаний балок (с армированием и без армирования) можно вычислить по формулам, изложенных в методиках [1–4].

Результаты сравнения периодов собственных колебаний балок с армированием и без армирования, полученные в результате вычислений, показывают, что указанные периоды должны отличаться в 1,22–1,16 раз, тогда как результаты экспериментальных данных показывают, что периоды колебаний для исследуемых балок отличаются в 2,86–3,50 раза (таблица).



Рис. 1. Динамические испытания бетонных балок

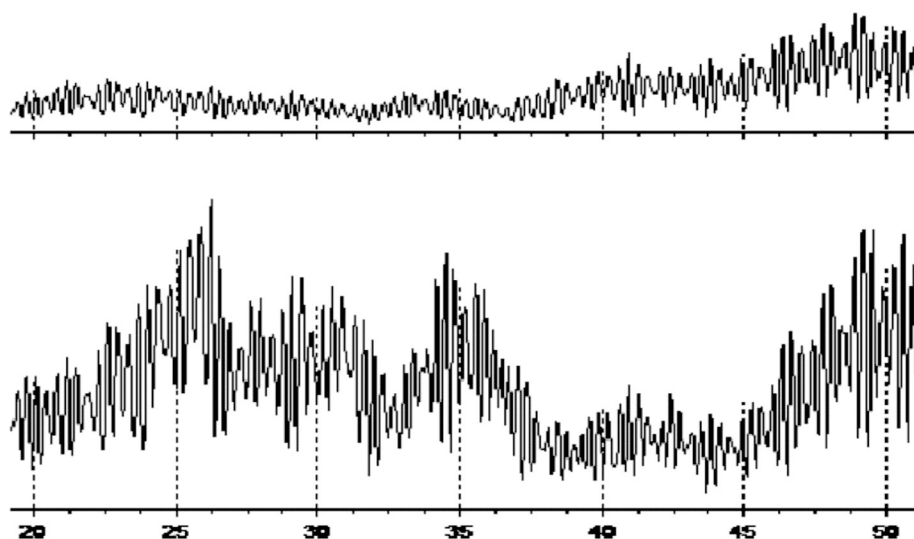


Рис. 2. Спектры колебаний в частотном диапазоне от 20 до 50 Гц:
сверху – балка из бетона марки 300 с армированием;
снизу – балка из бетона марки 300 без армирования

Отношение периодов собственных колебаний балок
без армирования T_6 и с армированием $T_{жб}$

Габаритные размеры, мм	Марка бетона	Наличие армирования, диаметр арматуры	Период собственных колебаний, T_2 , с	Отношение периодов собственных колебаний балок, $T_6/T_{жб}$	
				Эксперимент	Расчет
140×80×1000	М-300	Да, Ø12×2	0,012	3,50	1,22
140×80×1000	М-300	Нет	0,042		
140×80×1000	М-150	Да, Ø12×2	0,014	2,86	1,16
140×80×1000	М-150	Нет	0,04		

В литературе [1] приводятся математические выражения для оценки периодов собственных колебаний, с помощью которых можно определить влияние степени армирования, в частности, при расположе-

нии арматуры в нижней зоне период колебаний балки должен возрасти максимум в 2,24 раза, но это не соответствует экспериментальным значениям периодов собственных колебаний балки.

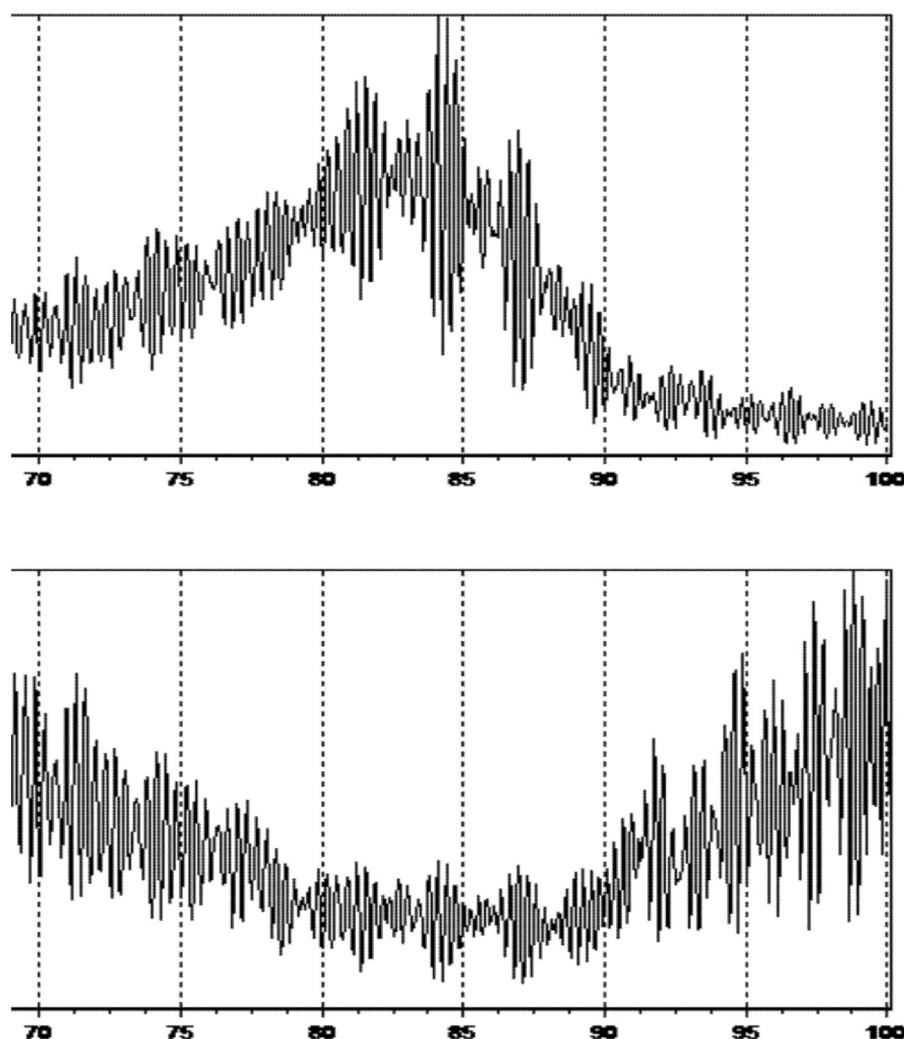


Рис. 3. Спектры колебаний балок из бетона марки 300 в частотном диапазоне от 70 до 100 Гц: сверху – для балки с армированием; снизу – для балки без армирования

Следует иметь в виду, что период собственных колебаний железобетонной балки в процессе длительной эксплуатации меняется, что позволяет судить о степени её износа.

Для оценки степени износа железобетонной конструкции достаточно сравнить расчетные и истинные экспериментально полученные значения периодов собственных колебаний на момент времени t . Степень износа конструктивной системы может быть определена по следующей зависимости:

$$\Delta T = \frac{T_1(t) - [T_1]}{[T_1]} \cdot 100 \%, \quad (5)$$

где $[T_1]$ – нормативное значение периода собственных колебаний; $T_1(t)$ – период собственных колебаний в момент времени t .

Для определения нормативного значения периода собственных колебаний

конструктивной системы с армированием необходимы новые методики учета влияния армирования на динамику железобетонных конструкций. Так как в настоящее время отсутствуют методики учета влияния армирования на динамику железобетонных конструкций, то для определения $[T_1]$ достаточно измерить T_1 в момент времени $t = 0$, то есть для новой конструкции $[T_1] = T_1(0)$.

Тогда формулу (5) можно будет переписать следующим образом:

$$\Delta T = \frac{T_1(t) - [T_1(0)]}{[T_1(0)]} \cdot 100\%. \quad (6)$$

При превышении периода собственных колебаний на 90 % ($\Delta T \geq 90\%$) конструкция не пригодна к эксплуатации.

Выводы

При одинаковых сечениях и прочностных характеристиках бетонные и железобетонные балки имеют разный частотный спектр динамических собственных колебаний, что говорит о существенном влиянии армирования на динамику балок. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что существующие расчетные методики не позволяют получить объективную информацию о периодах собственных колебаний армированных балок. Расхождения расчетных данных с экспериментальными данными отличаются более чем в 2 раза. Следовательно, требуются исследования по корректировке известных расчетных зависимостей для определения динамических характеристик балок с учетом их армирования.

Список литературы

1. Коробко В.И., Коробко А.В. Контроль качества строительных конструкций: Виброакустические технологии. – М.: Ассоциация строительных вузов, 2003. – 288 с.
2. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. – 5-е изд. – М.: Librokom, 2010. – 274 с.
3. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле: пер. с англ. Я.Г. Пановко. – 2-е изд., стереотип. – М.: Комкнига, 2006. – 440 с.
4. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры.

References

1. Korobko V.I., Korobko A.V. Kontrol' kachestva stroitel'nyh konstrukcij: Vibroakusticheskie tehnologii. M.: Assoциация stroitel'nyh vuzov, 2003. 288 p.
2. Panovko Ja.G. Osnovy prikladnoj teorii kolebanij i udara. 5-e izd. M.: Librokom, 2010. 274 p.
3. Timoshenko S.P. Kolebanija v inzhenernom dele: per. s angl. Ja.G. Panovko. 2-e izd., stereotip. M.: Komkniga, 2006. 440 p.
4. SP 52-101-2003. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii bez predvaritel'nogo naprjazhenija armatury.