

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АРМИРОВАНИЯ НА ЧАСТОТНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ

Столповский Г.А., Нестеренко А.М.

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Оценка частотных характеристик строительных конструкций (СК) — как расчётных, так и фактических, — это актуальная задача для инженеров и строителей в настоящее время. Данная характеристика может использоваться не только в расчётах на прочность и устойчивость при динамических нагрузках, но и при оценке фактической конструктивной целостности зданий и сооружений [1, 6]. Однако, присутствует множество факторов, влияющих на колебательные характеристики СК и усложняющих определение этих параметров. Один из факторов — это наличие арматуры в железобетонных конструкциях и её предварительное натяжение. В существующей технической литературе слабо освещён вопрос влияния степени и типа армирования на колебательные свойства железобетонных конструкций [2]. Основным показателем, характеризующим данные свойства, — это основная частота собственных колебаний (основной тон или проектная частота). Многочисленные опыты показывают, что при одинаковых поперечных сечениях, способах закрепления, длинах и внешних нагрузках бетонные и железобетонные конструкции имеют разные частотные характеристики.

1. Отличающиеся значения изгибной жёсткости.

Строительные материалы — бетон и арматурная сталь имеют разные значения модуля упругости E . Известно, что данный параметр является характеристикой продольной жёсткости рассматриваемого образца. В случаях, когда речь идёт о колебаниях конструкции, вызванных поперечными волнами, в литературе применяют такое понятие, как *изгибная жёсткость B* . На амплитудно-частотные характеристики поперечных колебаний влияют не только упругие свойства материала, но и форма образца, учитываемая моментом инерции J . Соответственно, изгибная жёсткость B определяется выражением $B=EJ$ [3].

Рассмотрим теоретическую оценку влияния степени армирования на динамические характеристики на примере 2-х железобетонных балок 120x140x5000. Одна балка бетонная неармированная ($\rho_{\text{неарм}} = 2000 \text{ кг/м}^3$), у другой — продольное армирование по нижней зоне сечения представлено 2-мя стержнями класса А-III диаметром 8 мм, защитный слой бетона 10 мм. Класс бетона В15.

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

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{12 \cdot 14^3}{12} = 2744 \text{ см}^4 = 2744 * 10^{-5} \text{ м}^4,$$

где b — ширина сечения балки, см; h — высота сечения балки, см.

Момент инерции железобетонной балки вычислим как приведённый момент инерции ($J_{\text{прив}}$) с учётом всей площади сечения бетонной балки и

площадей сечения арматуры с учётом коэффициента приведения арматуры к бетону [2]:

$$J_{\text{прив}} = J + J_S \cdot \alpha, \quad (1)$$

где $\alpha = E_S/E_b$ — коэффициент приведения арматуры к бетону.

J_S — момент инерции площади рабочей растянутой арматуры в нижней зоне относительно центра тяжести всего сечения (ц.т.), определяемый по формуле:

$$J_S = A_S(y_c - \alpha)^2 = 1,01(7 - 1)^2 = 36,36 \text{ см}^2,$$

y_c — расстояние от ц.т. сечения до наиболее растянутого волокна ($y_c = h/2 = 14/2 = 7 \text{ см}$);

a — защитный слой бетона.

Для классов бетона В25 и арматуры А-III сформируем исходные данные для последующего определения моментов инерции:

- Модуль упругости E , МПа:

$$E_{B15} = 24 \cdot 10^3; E_{A-III} = 20 \cdot 10^4.$$

- Плотность ρ , кг/м³:

$$\rho_{B15\text{арм}} = 2500.$$

Коэффициент приведения арматуры к бетону α :

$$\alpha = E_S / E_b = 20 \cdot 10^4 / 24 \cdot 10^3 = 8,33.$$

С учётом исходных данных выполним вычисления приведённого момента инерции железобетонной балки:

$$J_{\text{ред}} = 2744 + 36,36 \cdot 8,33 = 3047 \text{ см}^4 = 3047 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4.$$

Составим отношение моментов инерции армированной балки и неармированной:

$$\frac{J_{\text{прив}}}{J} = \frac{3047}{2744} = 1,11.$$

Применительно к тем же балкам найдём периоды T и частоты ω свободных колебаний. Свободные колебания балки описываются дифференциальным уравнением:

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

Для балки на 2-х опорах решение данного дифференциального уравнения приводит к следующей зависимости круговой частоты ω , рад/с:

$$\omega = \sqrt{\frac{48 \cdot 0,85 \cdot EJ}{ml^3}}, \quad (3)$$

где l — длина балки, м;

m — сосредоточенная масса всей балки, кг;

0,85 — коэффициент, учитывающий снижение жёсткости под влиянием неупругих деформаций бетона растянутой зоны.

Так, для заданной бетонной неармированной балки круговая частота свободных колебаний:

$$\omega_6 = \sqrt{\frac{48 \cdot 0,85 \cdot 24 \cdot 10^9 \cdot 2744 \cdot 10^{-5}}{210 \cdot 5^3}} = 1012 \text{ рад/с}$$

Линейная частота $\eta = 1012/(2 \cdot \pi) \approx 161 \text{ Гц}$;

Период свободных колебаний $T_6 = 1/107 = 0,00621$ с.

Для железобетонной балки круговая частота свободных колебаний:

$$\omega_6 = \sqrt{\frac{48 * 0,85 * 24 * 10^9 * 3047 * 10^{-5}}{210 * 5^3}} = 1066 \text{ рад/с}$$

Линейная частота $\eta = 1043/(2*\pi) \approx 170$ Гц;

Период свободных колебаний $T_6 = 1/166 = 0,00588$ с.

Как видно, период свободных колебаний армированной балки больше в 1,056 раза или на 6,6 %

2. Влияние предварительного напряжения.

Предварительное напряжение в железобетонных конструкциях создают с целью увеличения жёсткости. Тем самым повышается трещиностойкость конструкции, и уменьшаются перемещения от внешней полезной нагрузки [4].

Также за счёт увеличения жёсткости изменяются периоды собственных колебаний в меньшую сторону. Предварительное обжатие бетона даёт дополнительное напряжение σ_{sp} , которое наряду с модулем упругости E необходимо преодолеть, чтобы продольно деформировать образец. Аналогичный принцип работ можно наблюдать на примере струны музыкального инструмента: чем сильнее натянута струна, тем с большей частотой она совершает колебания. Таким образом, изгибную жёсткость при наличии предварительного напряжения стоит рассчитывать:

$$B = 0,85 * (E_b + \sigma_{sp}) * J_{red}, \quad (4)$$

σ_{sp} — величина предварительного напряжения с учётом потерь, МПа.

Определим изменения, которые произойдут с частотной характеристикой рассмотренной выше железобетонной балкой при замене арматуры на класс А-IV и устройством предварительного напряжения.

Зададим величину предварительного натяжения $\sigma_{sp} = 0,9 R_{s,ser} = 0,9 * 600 = 540$ Мпа. С учётом потерь $\sigma_{sp} = 370$ МПа.

Изгибная жёсткость B будет равна:

$$B = 0,85 * (24 * 10^9 + 370 * 10^6) * 3047 * 10^{-5} = 631170815 \text{ Н} * \text{м}^2$$

Тогда, круговая частота свободных колебаний:

$$\omega_6 = \sqrt{\frac{48 * 631170815}{210 * 5^3}} = 1074 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

Линейная частота $\eta = 1074/(2*\pi) \approx 171$ Гц;

Период свободных колебаний $T_6 = 1/107 = 0,00585$ с.

По сравнению с армированной, но не преднапряжённой балкой увеличение периода основного тона колебаний составило на 0,55 %.

Выводы.

Увеличение частоты основного тона балки при её армировании и устройстве предварительного напряжения по сравнению с обычной бетонной балкой составило $6,6+0,55 = 7,15$ %. Стоит отметить, что при дальнейшем увеличении степени армирования данной балки приведённый момент инерции будет расти с коэффициентом 8,33. Соответственно, разница между бетонной и

армированной предварительно напряжённой балкой будет еще более значительной, что необходимо учитывать при определении частотных характеристик железобетонных конструкций.

Список литературы

1. *Нестеренко, М.Ю., Нестеренко А.М. Обследование зданий и сооружений методом сейсмического зондирования. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. – № 2. 2014. – С. 5.*

2. *Акатьев, В.А. Влияние степени армирования железобетонной балки на ее амплитудно-частотную характеристику / В.А. Акатьев, Г.М. Нигметов, Т.Г. Нигметов // Современные наукоёмкие технологии. – №3 – 2015. – С.10.*

3. *Байков, В.Н. Железобетонные конструкции. Общий курс: учеб. для вузов. –5-е изд., перераб. и доп. / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. –М.: Стройиздат, 1991. –767 с.*

4. *Улицкий, И.И. Железобетонные конструкции (Расчёт и конструирование). Изд. третье, перераб. и допол. Киев, «Будівельник», 1972. – 992 с.*

5. *СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.*

6. *Исследование поглощающих свойств материала строительных конструкций на примере железобетонной перемычки / В.И. Жаданов, М.Ю. Нестеренко, Г.А. Столповский, А.М. Нестеренко // Известия вузов. Строительство. –2016. – №9. – С. 5-20.*

