

1
НОМЕР

БОНЦ

ISSN 2304-9081

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ

On-line версия журнала на сайте

<http://www.elmag.uran.ru>

БЮЛЛЕТЕНЬ

ОРЕНБУРГСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРО РАН



Павлейчик В.М.

2018

УЧРЕДИТЕЛИ

УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН

ОРЕНБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР УРО РАН

© А.М. Нестеренко, М.Ю. Нестеренко, 2018

УДК 69-04,534-16

А.М. Нестеренко, М.Ю. Нестеренко

КОМПЛЕКС ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Оренбургский научный центр УрО РАН (Отдел геоэкологии), Оренбург, Россия

В работе обобщены параметры динамических схем зданий и сооружений, используемых с целью анализа их технического состояния. Рассмотрены результаты экспериментов по определению коэффициента корреляции записей собственных колебаний разных частей строительного объекта с конструктивным нарушением. Рассмотрены результаты испытания двух железобетонных балок на степень затухания упругих колебаний. Определено влияние армирования и предварительного напряжения на динамические параметры железобетонных конструкций. Получено низкое значение коэффициента корреляции сейсмограмм собственных колебаний. Получено превышающее значение декремента колебаний для балки с нарушением над значением для целой балки. Разница в частоте собственных колебаний неармированной и армированной предварительно напряжённой балки составила 7,15%. Обоснована необходимость анализа комплекса динамических параметров зданий и сооружений для получения корректных результатов при вибрационном или сейсмическом обследовании.

Ключевые слова: динамика, частота собственных колебаний, демпфирующие свойства, строительные конструкции, дефектоскопия.

A.M. Nesterenko, M.Yu. Nesterenko

COMPLEX OF DYNAMIC PARAMETERS FOR ANALYSIS OF TECHNICAL CONDITION OF BUILDING SYSTEMS

Orenburg Scientific Center, UrB RAS (Department of Geoecology), Orenburg, Russia

The paper summarizes the parameters of the dynamic schemes of buildings and structures used to analyze their technical condition. The results of the experiments on determining the correlation coefficient of the natural oscillation records of different parts of a building object with a constructive violation are considered. The results of testing two reinforced concrete beams on the degree of attenuation of elastic vibrations are considered. The influence of reinforcement and prestress on the dynamic parameters of reinforced concrete structures is determined. A low value of the correlation coefficient of the eigenmodes of the eigenmodes is obtained. An excess of the oscillation decrement value for a beam with a violation above the value for the whole beam was obtained. The difference in the frequency of the natural oscillations of the unreinforced and reinforced prestressed beam was 7.15%. The necessity of the analysis of a complex of dynamic parameters of buildings and structures for obtaining correct results for a vibration or seismic survey is substantiated.

Key words: dynamics, frequency of natural oscillations, damping properties, building structures, flaw detection.

Введение

Исследования динамических особенностей строительных объектов начали проводить сравнительно недавно – приблизительно, с середины XIX века, когда стали появляться первые теории расчёта строительных конструкций (СК). Пролёты и высоты проектируемых сооружений перешли в разряд десятков метров, в то время как сечения элементов начали проектироваться с большей эффективностью по отношению к ожидаемой нагрузке. В связи с этим цена ошибки существенно возросла, поэтому не учитывать динамические эффекты внешних воздействий не представлялось возможным. Таким образом, сведения о работе любого здания или сооружения при действии периодически изменяющейся нагрузки важно с точки зрения обеспечения эксплуатационной надёжности. Процессу исследования способствовало появление высокоточных приборов, позволяющих регистрировать протекающие сигналы и возбуждать тарированные. Были выработаны многочисленные эффективные методики расчёта строительных систем на динамические загрузки. Однако до сих пор до конца не определено влияние дефектов и повреждений, сопровождающих эксплуатационный процесс любого здания, на рассматриваемые динамические параметры. Изучение данного вопроса привело к идее анализа текущего технического состояния обследуемого здания при использовании сведений о его динамической работе.

В настоящее время разрабатываются различные подходы, рассматривающие различные свойства и параметры при анализе. Все из них показывают существенную, но различную взаимосвязь по значениям при наличии или отсутствии конструктивного нарушения. Таким образом, при оценке технического состояния вибрационными методами, необходимо учитывать комплекс динамических параметров.

Материалы и методы

1. Коэффициент корреляции.

Математическая взаимосвязь колебательных процессов строительных конструкций по разные стороны от конструктивного нарушения может служить общим показателем влияния структурных неоднородностей на динамические параметры строительных систем. Запись колебаний, — сейсмограмма, представляет собой совокупность таких параметров, как частота собственных колебаний, амплитуда, коэффициент затухания, поляризация. В таком случае возможно только говорить об общем изменении условий для измеряемых то-

чек, которые могут включать не только конструктивные дефекты, но и условия закреплений конструкций, различное расстояние до шумящих записи источников колебаний, изменение геометрии и свойств материала и др. Для получения релевантной информации, требуется соответствующая обработка сейсмограмм с выделением вышеперечисленных параметров.



Рис. 1. Схема расположения сейсмологического оборудования.

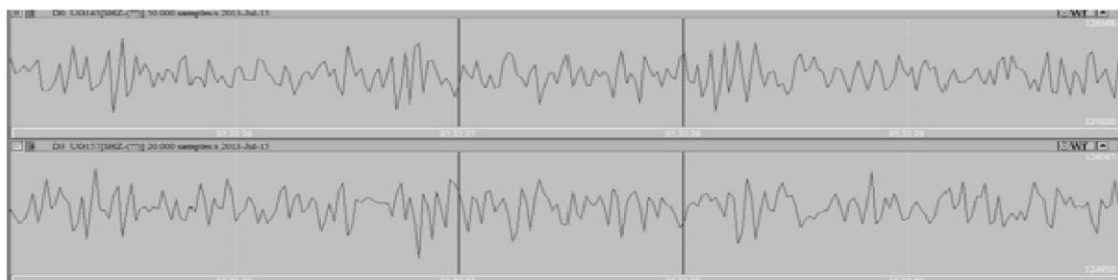


Рис.2а. Визуально похожие участки сейсмограмм с двух датчиков станций I и II, расположенных на цельной конструкции фундамента основного блока здания.

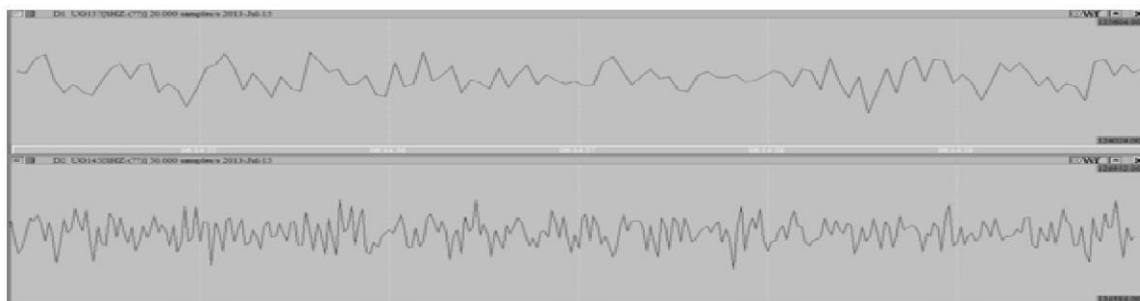


Рис. 2б. Визуально различные участки сейсмограмм с 2-ух датчиков станций I и IV, расположенных по разные стороны от разрыва в конструкциях фундаментов основного блока и пристроенного холла.

2. Демпфирующие свойства материала строительных конструкций.

Нарушения в СК уменьшают фактическую изгибную жёсткость [2-3], а также могут способствовать затрате энергии собственных колебаний на дополнительные смещения в пределах нарушения, что может существенно влиять на динамические параметры. Для проверки предположения о том, что дефекты и повреждения в строительных конструкциях влияют на поглощение энергии собственных колебаний, на базе лаборатории кафедры строительных конструкций ОГУ был проведён эксперимент по испытанию двух железобетонных (ж/б) перемычек: целой и с трещиной (рис. 3 и 4).

Для получения записей собственных колебаний регистрирующие датчики (акселерометры ВС 201) устанавливались на обе перемычки в одинаковых точках по разные стороны от трещины и располагаются на одной прямой линии на едином расстоянии от нарушенной зоны вдоль взаимно перпендикулярных осей Z, N, E (заданных соответственно по высоте, ширине и длине балки, рис. 5). Для возбуждения колебаний в балках производятся удары в направлении заданных осей [4].



Рис. 3. Испытание нарушенной ж/б перемычки.



Рис. 4. Испытание целой ж/б перемычки.

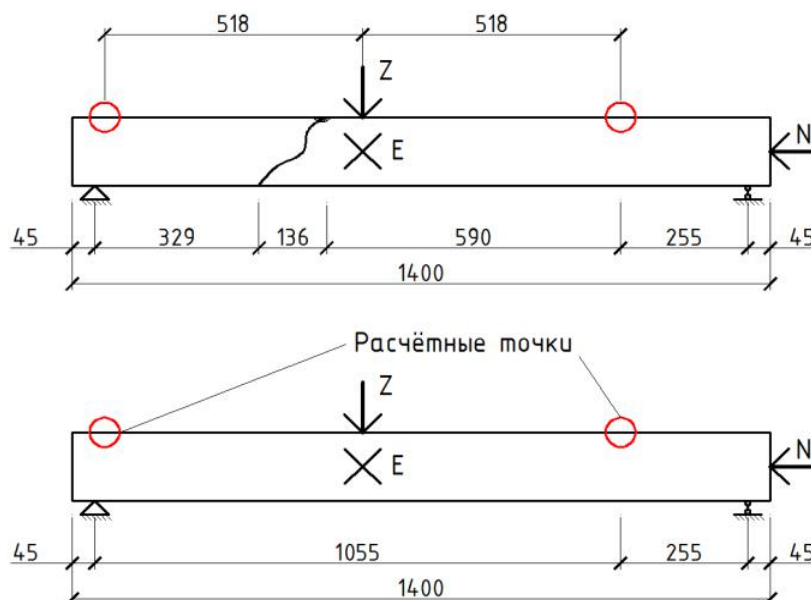


Рис. 5. Расчётные схемы для испытаний ж/б перемычек.

Для количественной оценки влияния трещины на затухание собственных колебаний целесообразно использовался логарифмический декремент колебаний, который является безразмерной величиной, равной натуральному логарифму отношению двух амплитуд, следующих друг за другом через промежуток времени, равному периоду T колебаний. Значение периода T в данном случае равно промежутку времени между соседними гребнями волны на отфильтрованной по определённой частоте сейсмограмме. Значение амплитуды для числителя — значение отсчёта из 1-ой сейсмограммы $A_1(t)$, полученной с 1-ой точки на конструкции; амплитуда для знаменателя — значение отсчёта со 2-ой сейсмограммы $A_2(t+T)$, которая получена со 2-ой точки конструкции. Выбор значений, полученных с разных точек конструкции, позволяет оценить уменьшение амплитуды с расстоянием (расстояние между датчиками). При этом в расчёт принимались только отсчёты, имеющие значение по модулю выше принятого уровня шума, а также имеющие нулевое значение производной функции сейсмограммы по времени для выделения гребня. Таким образом, значения амплитуд в 1-ой и 2-ой сейсмограммах определяются по условию [4]:

$$A_1(t) = y_1(t), \quad (1)$$

$$\text{при } \frac{dy_1}{dt} = 0 \text{ и } y_1(t) \in (-\infty; -a] \cup [a; +\infty)$$

$$A_2(t+T) = y_2(t+T), \quad (2)$$

$$\text{при } \frac{dy_2}{dt} = 0 \text{ и } y_2(t+T) \in (-\infty; -a] \cup [a; +\infty)$$

где $A_1(t)$ – значение амплитуды по 1-ой сейсмограмме в момент времени t ;

$A_2(t+T)$ — значение амплитуды по 2-ой сейсмограмме в момент времени $(t+T)$, T — период отфильтрованной сейсмограммы, с;

$y_1(t)$ — функция 1-ой сейсмограммы;

$y_2(t+T)$ — функция 2-ой сейсмограммы;

a — пороговое значение амплитуды сейсмограмм (принятый уровень фонового шума), ниже которого расчёт не выполняется.

Тогда логарифмический декремент затухания рассчитывается как среднее арифметическое значений ряда:

$$\delta = \frac{\sum_{k=1}^n \ln \frac{|A_{1,k}|}{|A_{2,k+1}|}}{n}, \quad (3)$$

где $A_{1,k}$ – значение k -ой амплитуды (отсчёта) по 1-ой сейсмограмме с 1-ой точки;

$A_{2,k+1}$ – следующая через период T после $A_{1,k}$ амплитуда по 2-ой сейсмограмме со 2-ой точки;

n – количество расчётных точек.

3. Влияние армирования и предварительного напряжения железобетонных конструкций на динамические параметры строительных конструкций.

Оценка частотных характеристик строительных конструкций – 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 [5]. Однако присутствует множество факторов, влияющих на колебательные характеристики СК и усложняющих определение этих параметров: конструктивная схема, напряжённо-деформированное состояние, наличие трещин и зон пониженной прочности. Также 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. Основной показатель, характеризующий 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 [5].

А) 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 $B=EJ$.

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:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{12 \cdot 14^3}{12} = 2744 \text{ см}^4 = 2744 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4,$$

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:

$$J_{\text{прив}} = J + J_S \cdot \alpha, \tag{4}$$

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 ($y_c = h/2 = 14/2 = 7$ 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: $\rho_{B15арм} = 2500$.

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:

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

Составим отношение моментов инерции армированной балки и неармированной:

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

$$\frac{EJ}{\rho} \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0 \quad (5)$$

Результаты и обсуждение

1. В результате экспериментальной проверки здания с пристройкой (конструктивным нарушением, рис. 1) были получены визуально схожие участки сейсмограмм в случае анализа данных с датчиков, расположенных на цельной конструкции (рис. 2а). И, наоборот, визуально различные – в случае анализа данных с датчиков с разных конструкций (рис. 2б) [1].

Как видно на рисунке 2б, нижняя сейсмограмма имеет большую частоту, что объясняется наличием вынуждающей силы, которая не передается из-за наличия трещины, то есть отсутствия жёсткой связи. Очевидно, что данный метод визуального сравнения субъективен: невозможно определить значения амплитуд и частот, а также точно сравнить данные. Поэтому нами использована программа "Анализ сейсмограмм", описанная выше, для точного подсчёта коэффициента корреляции. С помощью данного программного обеспечения подсчитывался коэффициент корреляции взятых участков сейсмограмм. Взаимосвязь данных со станций I и II оказалась близка к единице,

что подтверждает отсутствие повреждений и дефектов в конструкции фундамента основного блока здания (табл. 1). В то же время взаимосвязь сейсмограмм, записанных станциями II и IV, II и III, оказалась незначительной (-0,33), что свидетельствует о различии параметров колебаний, совершаемых конструкциями фундаментов основного блока и пристроек (табл. 2 и 3) [1].

Таблица 1. Лаги и коэффициенты корреляции данных со станций I и II

Датчик	Лаги		Коэффициент корреляции
	Отсчет	Время	
1	0	0	0,998
2	0	0	0,993
3	0	0	0,993

Таблица 2. Лаги и коэффициенты корреляции данных со станций II и IV

Датчик	Лаги		Коэффициент корреляции
	Отсчет	Время	
1	3	0,46	0,328
2	8	0,16	0,211
3	7	0,14	0,147

Таблица 3. Лаги и коэффициенты корреляции данных со станций II и III

Датчик	Лаги		Коэффициент корреляции
	Отсчет	Время	
1	4	0,08	0,201
2	7	0,14	0,210
3	14	0,28	0,238

Отсутствие жесткой связи из-за разрывов не позволяет всей конструкции фундамента совершать единые колебания [1].

2. В результате получены значения логарифмического декремента колебаний для целой перемычки (табл. 4) и перемычки с трещиной (табл. 5).

Таблица 4. Целая перемычка. Логарифмический декремент затухания по осям Z, N, E для частот, выделенных из спектра

Частота пика на спектре, Гц	Ось		
	Z	N	E
Среднее $\bar{\delta}$	-0,001	0,020	0,023
	0,014		

Таблица 5. Перемычка с трещиной. Логарифмический декремент затухания по осям Z, N, E для частот, выделенных из спектра

Частота пика на спектре, Гц	Ось		
	Z	N	E
Среднее $\bar{\delta}$	0,552	0,425	0,527
	0,501		

Согласно определению логарифмического декремента затухания [4] чем выше его значение, тем круче аппроксимирующий график колебания и тем быстрее процесс затухания. Для случая с нарушенной балкой значение больше примерно в $\frac{0,501}{0,014} \approx 36$ раз по сравнению с результатами по целой. Различие полученных значений лог. декремента затухания для целой и нарушенной балок может быть вызвано уменьшением интенсивности волны при прохождении через трещиноватую область [4].

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

$$\omega = \sqrt{\frac{48 * 0,85 * EJ}{ml^3}}, \quad (6)$$

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:

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

Линейная частота $\eta = 1012/(2*\pi) \approx 161$ Гц;

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

Для железобетонной балки круговая частота свободных колебаний:

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

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 %

Б) 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 [5]. Также за счёт увеличения жёсткости изменяются периоды собственных колебаний в меньшую сторону. Предварительное обжатие бетона даёт до-

полнительное напряжение $\sigma_{бр}$, 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:

$$B = 0,85 * (E_b + \sigma_{сп}) * J_{ред}, \quad (7)$$

$\sigma_{сп}$ — 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

$$\sigma_{сп} = 0,9 R_{с,ст} = 0,9 * 600 = 540 \text{ Мпа} . \text{ С учётом потерь } \sigma_{сп} = 370 \text{ Мпа} .$$

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%. Таким образом, 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.

Заключение

Существует ряд динамических параметров строительных систем и их элементов, который отражает эксплуатационную надёжность обследуемых зданий и сооружений. При этом на динамические параметры оказывают влияния многочисленные внешние и внутренние факторы, такие, как геометрия

строительной системы, приложенная нагрузка, армирования, предварительное напряжение, граничные условия опор и соединений, присутствие источников вынужденных колебаний и др. Поэтому для выявления и локализации конструктивного нарушения, необходимо рассматривать комплекс динамических параметров строительных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нестеренко М.Ю., Нестеренко А.М. Обследование зданий и сооружений методом сейсмического зондирования. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2014. 2: 5с. [Электр. ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2014-2/Articles/Nesterenko%20MY-Nesterenko%20AM-2014-2.pdf>).
2. Котляревский В.А. Диагностика скрытых дефектов сейсмостойких сооружений по изменению частотного спектра. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2014. 4: 36-42.
3. Коробко В.И., Черняев А.А. Решение задач поперечного изгиба пластинок с использованием конформных радиусов. Строительная механика и расчет сооружений. 2011. 6: 16-22.
4. Жаданов В.И., Нестеренко А.М., Нестеренко М.Ю., Столповский Г.А. Исследование поглощающих свойств материала строительных конструкций на примере железобетонной перемычки. Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. 9 (693): 76-86.
5. Нестеренко А.М., Столповский Г.А. Определение влияния армирования и предварительного напряжения на амплитудно-частотную характеристику железобетонной конструкции. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2017. 3: 62-66.

Поступила 23.03.2018

(Контактная информация: Нестеренко А.М. — ведущий инженер Отдела геоэколог Оренбургского научного центра УрО РАН; адрес: Оренбург, ул. Набережная, 29; E-mail: Alexnes@mail.ru), аспирант Оренбургского государственного университета по направлению «Строительные конструкции. Здания и сооружения»;

Нестеренко Максим Юрьевич – доктор геолого-минералогических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Отдела геоэкологии Оренбургского научного центра УрО РАН; адрес: Оренбург, ул. Набережная, 29; E-mail: geocol-ONC@mail.ru).

LITERATURE

1. Nesterenko M.Ju., Nesterenko A.M. Obsledovanie zdaniy i sooruzhenij metodom sejsmicheskogo zondirovaniya. B'ulleten' Orenburgskogo nauchnogo centra UrO RAN. 2014. 2: 5s. [Jelekt. resurs] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2014-2/Articles/Nesterenko%20MY-Nesterenko%20AM-2014-2.pdf>).
2. Kotljarevskij V.A. Diagnostika skrytyh defektov sejsmostojkih sooruzhenij po izmeneniju chastotnogo spektra. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. 2014. 4: 36-42.
3. Korobko V.I., Chernjaev A.A. Reshenie zadach poperechnogo izgiba plastinok s ispol'zovaniem konformnyh radiusov. Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. 2011. 6: 16-22.

4. Zhadanov V.I., Nesterenko A.M., Nesterenko M.Ju., Stolpovskij G.A. Issledovanie pogloshhajushhih svojstv materiala stroitel'nyh konstrukcij na primere zhelezobetonnoj peremychki. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2016. 9 (693): 76-86.
5. Nesterenko A.M., Stolpovskij G.A. Opredelenie vlijanija armirovanija i predvari-tel'nogo naprjazhenija na amplitudno-chastotnuju harakteristiku zhelezobetonnoj kon-strukcii. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Serija: Materialy. Konstrukcii. Tehnologii. 2017. 3: 62-66.

Образец ссылки на статью:

Нестеренко А.М., Нестеренко М.Ю. Комплекс динамических параметров для анализа технического состояния строительных систем. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2018. 1: 12с. [Электр. ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2018-1/Articles/AMN-2018-1.pdf>) DOI: **10.24411/2304-9081-2018-11006**.