

8. Травуш В. И. Расчет параметра живучести рамно-стержневых конструктивных систем / В. И. Травуш, Н. В. Федорова // Russian journal of Building Construction and Architecture. – 2017. – № 1 (33). – С. 6–14.
9. Федоров В. С. Проектирование строительных конструкций и оснований с учетом надежности и режимных воздействий / В. С. Федоров, Т. В. Золина, Н. В. Купчикова и др. – Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – 209 с.
10. Федорова Н. В. Экспериментальные исследования живучести железобетонных рам с ригелями, усиленными косвенным армированием / Н. В. Федорова, Д. К. Фан, Т. Ч. Нгуен // Строительство и реконструкция. – 2020. – № 1 (87). – С. 92–100.
11. Trekin N. N. The improvement of protection methods from the progressive collapse of one-storey industrial buildings / N. N. Trekin, E. N. Kodysh, N. G. Kelasiev, S. D. Shmakov, I. A. Terehov, A. B. Chaganov // Journal of Physics: Conference Series : International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019, MMSA 2019, Moscow, 13–15 ноября 2019 года. – Moscow : Institute of Physics Publishing, 2020. – Vol. 1425. – P. 012050.
12. Федоров В. С. Прогнозы железобетонных конструкций в предельном состоянии / В. С. Федоров, М. В. Шавыкина, Е. В. Юсупова // Строительство и реконструкция. – 2017. – № 4 (72). – С. 80–86.
13. Чаганов А. Б. Особое предельное состояние железобетонных конструкций. Актуальное состояние и перспективы развития проблемы / А. Б. Чаганов, А. В. Черепанов, С. Д. Шмаков // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 12 (96). – С. 669–683.
14. Кабанцев О. В. К выбору характеристик предельных состояний монолитных железобетонных несущих систем для режима прогрессирующего обрушения / О. В. Кабанцев, Б. Митрович // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2018. – № 6 (378). – С. 234–241.
15. Trekin N. N. Determination of the Criteria of Deformation in a Special Limiting State / N. N. Trekin, E. N. Kodysh, S. D. Shmakov, I. A. Terekhov, K. L. Kudyakov // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2021. – Vol. 17, No. 1. – P. 108–116.
16. Авдеев К. В. О совершенствовании нормативных требований к конструкциям зданий и сооружений на взрывопожароопасных производственных объектах / К. В. Авдеев, В. В. Бобров, Д. И. Левин и др. // Безопасность труда в промышленности. – 2022. – № 11. – С. 85–92.

© Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, И. А. Терехов, С. Д. Шмаков

Ссылка для цитирования:

Трекин Н. Н., Кодыш Э. Н., Терехов И. А., Шмаков С. Д. Классификация сооружений промышленных предприятий по возможности защиты от прогрессирующего обрушения // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 1 (47). С. 15–20.

УДК 620.179
DOI 10.52684/2312-3702-2024-47-1-20-27

КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПО ИХ ДИНАМИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

С. Н. Савин, Ч. Д. Фан

Савин Сергей Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, тел.: + 7 (911) 220-49-92; e-mail: savinsn@gmail.com;

Фан Чунг Дык, аспирант, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, тел.: + 7 (953) 361-84-46; e-mail: phanchungduc@gmail.com

В статье рассмотрено возможность оценки жесткостных характеристик зданий по результатам экспериментальных измерений частоты их собственных колебаний. Определены периоды собственных колебаний здания с использованием эмпирических формул и стандартов некоторых стран мира. Проведено сравнение результатов вычислений и численного моделирования для оценки достоверности значений эмпирических формул. Проведены экспериментальные измерения динамических параметров здания методом случайного колебания и произведена первичная оценка жесткостных свойств материала. Результаты еще раз проверены экспериментом по определению жесткостных характеристик материалов строительных конструкций методом с использованием изгибных волн. Использование комбинации двух экспериментальных методов (метод случайного колебания и метод с использованием изгибных волн) необходимо для получения надежных и высокоточных оценок об уровне повреждения здания при обследовании для реконструкции.

Ключевые слова: период собственного колебания, жесткостные характеристик, экспериментальные исследования, динамические параметры.

CONTROL OF THE TECHNICAL CONDITION OF BUILDINGS AND STRUCTURES BY THEIR DYNAMIC CHARACTERISTICS

S. N. Savin, Ch. D. Fan

Savin Sergey Nikolayevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russian Federation, phone: + 7 (911) 220-49-92; e-mail: savinsn@gmail.com;

Fan Chung Duc, post-graduate student, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russian Federation, phone: + 7 (953) 361-84-46; e-mail: phanchungduc@gmail.com

The article considers the possibility of estimating the stiffness characteristics of buildings based on the results of experimental measurements of the frequency of their natural vibrations. The periods of natural vibrations of the building using empirical formulas and standards of some countries of the world are determined. Comparison of the results of calculations and numerical modeling to assess the reliability of the values of empirical formulas is carried out. Experimental measurements of the dynamic parameters of the building by random vibration method are carried out and the initial evaluation of the stiffness properties of the material is made. The results are further verified by experiment to determine the stiffness characteristics of building structure materials using the bending

wave method. The use of a combination of two experimental methods (random oscillation method and bending wave method) is necessary to obtain reliable and highly accurate estimates of the level of damage to the building when surveying for reconstruction.

Keywords: period of natural vibration, stiffness characteristics, experimental research, dynamic parameters.

Введение

Ветер, ураганы и землетрясения - опасные природные явления, наносящие значительный ущерб людям и имуществу. Вечером в пятницу, 8 сентября 2023 года, в горах Высокого Атласа в Марокко произошло землетрясение магнитудой 6,8, в результате которого погибли около 3 тыс. человек и 5,6 тыс. получили ранения. В результате повреждены рухнули тысячи домов. Причина объясняется тем, что конструкция зданий довольно слабая, здания построены очень давно, большинство из них построены из кирпича-сырца и не совсем гарантируют требуемой прочности, поэтому не выдерживают сейсмических нагрузок. Определение влияния пониженной прочности и накопленных повреждений на конструкции представляет собой сложную задачу. Поэтому определение периода собственных колебаний здания играет ключевую роль, поскольку период собственных колебаний является интегральной характеристикой объекта, как колебательной системы и позволяет уточнить его сейсмостойкость [1–2, 5, 7], что наиболее актуально для оценки технического состояния давно эксплуатируемых зданий [6, 8–10, 23].

При ветре и землетрясении возникают динамические нагрузки, которые передаются на конструкции, вызывая их деформации и колебания [3]. Эта реакция зависит от таких факторов, как масса, жесткость, высота здания и свойства грунтов в его основании [30–31]. Однако в 1985 году землетрясение магнитудой 8,1 привело к разрушению большинства зданий ниже 20 этажей, в то время как здания выше 20 этажей пострадали в основном в меньшей степени (The New York Times 5/11/1985). Такие последствия можно объяснить явлением резонанса, когда внешнее динамическое воздействие имеет частоту близкую к частоте собственных колебаний здания [29], что многократно усиливает деформации конструкций. Поэтому при определении периода собственных колебаний здания необходимо тщательно учитывать влияние этого фактора. И, с другой стороны, период собственных колебаний здания также играет важную роль в оценке жесткости при обследовании качества старых здания и сооружений для реконструкции.

Постановка задачи

Целью является подбор подходящего эмпирических формул для определения периоды колебаний здания среди многих исследований ученых разных стран и рассмотрение возможности оценки жесткостных характеристик зданий по результатам экспериментальных измерений частоты их собственных колебаний, которые являются важной задачей в обследовании зданий и сооружений.

Основной поставленной задачей будет являться определение периоды собственных колебаний здания, проведение экспериментальных измерений динамических параметров здания методом случайного колебания и первичной оценки жесткостных свойств материал.

Научная новизна заключается в использовании комбинированного метода определения

собственных колебаний зданий для их оценки технического состояния и проверки экспериментом по определению жесткостных характеристик материалов строительных конструкций методом с использованием изгибных волн. Выявлены реальные сравнительные данные о периодах собственных колебаний зданий и жесткостных характеристиках стены. Эти данные позволяют более объективно оценить очевидные методы, но они не широко используются в обследовании здания и сооружений.

Метод

В настоящее время нет строгих соотношений между изменениями значений периода собственных колебаний здания и степенью повреждения его конструкций. Тем не менее, принято считать [11] что снижение частоты собственных колебаний по первому тону не должно превышать 20 % от результатов предыдущих оценок. Поэтому определение периода собственных колебаний на эксплуатируемом здании является весьма актуальной задачей.

В некоторых литературных источниках [4, 9, 11] степень повреждения здания определяется степенью увеличения периода его собственных колебаний (табл. 1).

Таблица 1

Степень повреждения здания в зависимости от увеличения периода собственных колебаний

Степень повреждения	Увеличение периода собственных колебаний, %
1 – без повреждения – легкая	0–10
2 – умеренная	11–30
3 – сильная	31–60
4 – тяжелая	61–90
5 – катастрофическая	91–100

Период собственных колебаний здания определяется: а) прямыми методами (эмпирические формулы), приведенными в литературе [12–18]; б) методом численного моделирования (конечно-элементные программы Sap 2000, Etabs, SCAD) [1–3, 7, 14]; в) динамическими испытаниями с использованием вибромашин, испытательных стендов и микроколебаний (динамическая регистрация) с использованием специальных приборов (датчиков/акселерометров)[6, 10, 12, 21–23]. Полученные значения T [с] зачастую не совпадают, что вполне объяснимо отличием проектных и фактических параметров. В практике проектирования двумя основными методами определения периода колебаний зданий являются результаты применения эмпирических формул и использования компьютерных программ, таких как Sap 2000, Etabs, SCAD.

а) Прямой метод (эмпирические формулы)

На самом деле значение периода колебаний не является фиксированным. В процессе эксплуатации происходит осадка фундамента, появляются крупные и мелкие трещины, связанные с вибрациями от производственного процесса. И, наконец, ухудшение качества здания с течением времени, под воздействием внешних причин, из-за неправильной эксплуатации

влияет на изменение жесткости здания и, следовательно, изменяет период собственных колебаний.

В современной литературе существует ряд эмпирических формул для определения периода колебаний зданий. Эмпирические формулы каждого метода учитывают такие геометрические характеристики, как длина, ширина и/или высота и/или количество этажей. Эмпирические формулы

определяются на основе данных исследований, наблюдений за многими сооружениями после землетрясений и теоретических принципов динамики зданий. Эти формулы дают важную информацию для количественного определения диапазона периодов колебаний существующего здания. Некоторые эмпирические формулы, полученные учеными в разных странах представлены в таблице 2.

Таблица 2

Эмпирические формулы, полученные учеными в разных странах

Страна	Прямые (эмпирические) методы	Формула
Россия	ГОСТ 34081—2017:	данные указаны в Прил. Ж ГОСТ 34081—2017
	Шахрамьян М.А. и его сотрудники: <ul style="list-style-type: none"> • жилые крупнопанельные здания; • жилые здания с несущими кирпичными, каменными и крупноблочными стенами; • школьные и другие здания с большими проемами в стенах типа п. 2; • каркас из монолитного железобетона с кирпичным или легкобетонным заполнением стен; • каркас стальной, заполнение по п. 4 	0.045n 0.056n 0.065n 0.064n 0.08n
США	ASCE/SEI 7-10: <ul style="list-style-type: none"> • железобетонные рамные конструкции; • стальные рамные конструкции; • стальные рамные каркасы с подкосами; • все остальные конструктивные системы 	0.0466H ^{0.9} 0.0724H ^{0.8} 0.0731H ^{0.75} 0.0488H ^{0.75}
	F.P. Ulrich и D.S. Carder: формулы метода были получены на основе экспериментальных измерений на 400 зданиях с различными типами конструкций	(0.01 ... 0.035)H 0.02H
Южная Корея	KBC 2009 (ref. 39) Железобетонные рамные конструкции Yoon and Joo Железобетонные системы сдвиговых стен и высота менее 66 м	0.073H ^{0.75} 0.0193H
Япония	T. Taniguchi: метод основан на экспериментальных исследованиях, проведенных на большом количестве зданий в Токио и Йокогаме. Все остальные конструктивные системы	(0.07 ... 0.09)n (0.06 ... 0.1)(n + 0.5) (0.12 ... 0.4) × $\sqrt{\frac{2n + 1}{3}}$

Примечание: n – количество этажей; H – высота здания.

б) Метод численного моделирования (конечно-элементная программа ETABS)

В настоящее время программы для расчета методом конечных элементов являются мощными инструментами, позволяющими проводить расчеты быстро и относительно точно. Однако каждый метод имеет свои ограничения. Для конечно-элементных программ точное моделирование объекта является очень важной задачей. Иногда экспериментальный доступ к объекту относительно затруднен, отсутствует информация о конструктивных элементах и характеристиках материалов конструкций, поэтому полученные результаты могут быть далеки от реальности.

При декларировании в программе конструктивного анализа мы часто не учитываем влияние кладки стен на период колебаний здания. Очевидно, что кладка стен увеличивает жесткость конструктивной системы. Тем самым уменьшая период собственных колебаний объекта. Исследуя здания со стенами кирпичной кладки и без нее, Косак и его коллеги пришли к следующему выводу: Период колебаний зданий со стенами с кирпичной кладкой уменьшается от 26 до 32 % [19–20], по сравнению с периодом колебаний без кирпичных стен. Таким образом, рекомендуется использовать рекомендации из расчетной программы,

а именно, умножать значения периода колебаний на коэффициент влияния стен с кирпичным заполнением $\alpha = 0,7$, что позволит получить результаты, наиболее приближенные к реальности.

в) Экспериментальный метод (динамическая регистрация) с использованием специальных приборов (датчиков/акселерометров)

В данном исследовании определение динамических характеристик осуществлялось методом свободных колебаний [24–25]. Сущность метода заключается в том, что в качестве исходных данных о состоянии объекта обследования используются его динамические характеристики – формы и виды свободных колебаний и соответствующие им частоты (периоды), декременты, эпюры (графики амплитуд колебаний различных точек конструкции) или диаграммы колебаний.

Пример расчета

В качестве расчетного примера взято восьмиэтажное здание с планом типового этажа размерами 18 × 30 м (рис. 1), высотой 24 м. Результаты расчета периода собственных колебаний по эмпирическим формулам представлены в таблице 3. Параметры исходных данных по материалам, нагрузкам, а также размеры поперечных сечений колонн, стен, балок, перекрытий и результаты расчета методом численного моделирования с учетом

коэффициента влияния заполнения кирпичных стен приведены в таблице 4.

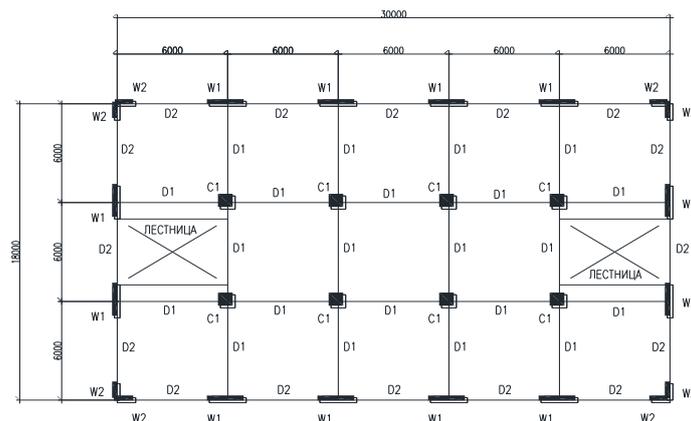


Рис. 1. План типового этажа

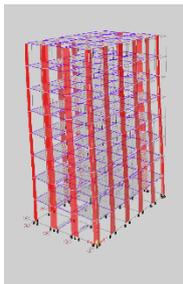
Таблица 3

Расчет периода собственных колебаний по эмпирическим формулам

Страна	Метод	Формула	Результат, период, сек.
Россия	ГОСТ 34081–2017	данные указаны в Прил. Ж ГОСТ 34081–2017	0.41...0.65
	Шахраманян М.А. и его сотрудники	$0.064n$	
Сша	ASCE/SEI 7-10	$0.0488H^{0.75}$	0.529
	F.P. Ulrich and D.S. Carder method	$(0.01 \dots 0.035)H$	0.24...0.84
Южная Корея	KBC 2009 (ref. 39)	$0.073H^{0.75}$	0.79
	Yoon and Joo	$0.0193H$	0.463
Япония	T. Taniguchi method	$(0.07 \dots 0.09)n$ $(0.06 \dots 0.1)(n + 0.5)$ $(0.12 \dots 0.4) \times \sqrt{\frac{2n + 1}{3}}$	0.29...0.95

Таблица 4

Результаты расчета методом численного моделирования

Варианты	Параметры элементов и нагрузки				Результаты численного моделирования (с учетом влияния заполнения кирпичных стен)
	Элементы	Материалы	Размеры	Нагрузки	
№ 1	Колонна	Арматура АIII; Бетон $E_{c,c} = 28000 \text{ МПа}; \rho_{c,c} = 2,4 \text{ т/м}^3$	80 × 80 см	- постоянная нагрузка на 1 м ² пола $p = 1,2 \text{ кН/м}^2$; - временная нагрузка на 1 м ² пола $g = 1,95 \text{ кН/м}^2$; - нагрузка от стены на 1 м балки $h = 12 \text{ кН/м}$	 $T_1 = 0.59 \text{ с}$
	Железобетонная стена W1	Арматура АIII; Бетон $E_{c,c} = 28000 \text{ МПа}; \rho_{c,c} = 2,4 \text{ т/м}^3$	30 × 200 см		
	Железобетонная стена W2	Арматура АIII; Бетон $E_{c,c} = 21000 \text{ МПа}; \rho_{c,c} = 2,4 \text{ т/м}^3$	30 × 100 см		
	Балки D1	Арматура АIII; Бетон $E_{c,c} = 30500 \text{ МПа}; \rho_{c,c} = 2,4 \text{ т/м}^3$	30 × 60 см		
	Балки D2	Арматура АIII; Бетон $E_{c,c} = 30500 \text{ МПа}; \rho_{c,c} = 2,4 \text{ т/м}^3$	20 × 50 см		
	Плиты	Арматура АIII; Бетон $E_{c,c} = 30500 \text{ МПа}; \rho_{c,c} = 2,4 \text{ т/м}^3$	10 см		

Результаты расчета по эмпирическим формулам показали значительное совпадение (в России, американским стандартом и экспериментальным исследованием Юн и Чжу в Южной Корее). Они близки к результату численного моделирования в первом варианте и находятся в диапазоне значений Российского стандарта, экспериментального исследования Кардера в США, а также экспериментального исследования Танигути в Японии.

Следует отметить, что именно в Российском стандарте предусмотрены узкие интервалы значений, соответствующие каждому типу зданий, которые обеспечивают достоверность и высокую точность результатов вычислений периода собственных колебаний здания и сооружений. Значение, полученное по Южному Корейскому стандарту, значительно превосходит результаты исследований в США и России. Это может объяснить тот факт, что

формула, применяемая к каркасной конструкции, не учитывает влияние заполнения стен. Следовательно, здание будет более гибким, а период собственных колебаний – больше.

1. Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

Здание (рис. 2) в обследуемом корпусе выполнено по схеме с неполным металлическим каркасом с кирпичными наружными стенами. Схемы проведения динамических испытаний здания приведены на рисунке 3.



Рис. 2. Обследуемое здание в СПб. на улице Уткина, 6б

Измерения выполнялись на втором этаже здания по двум горизонтальным осям при импульсном возбуждении колебаний ударом в приведенных точках У1–У3.

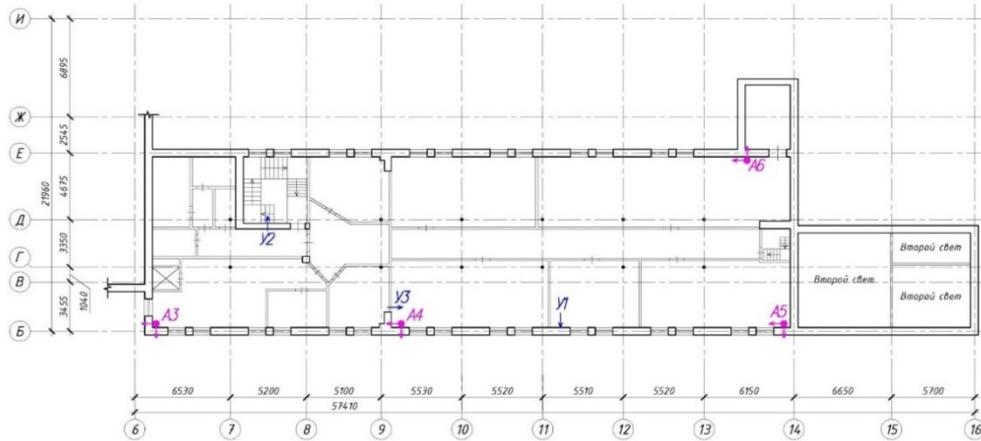


Рис. 3. Схема измерения динамических характеристик здания

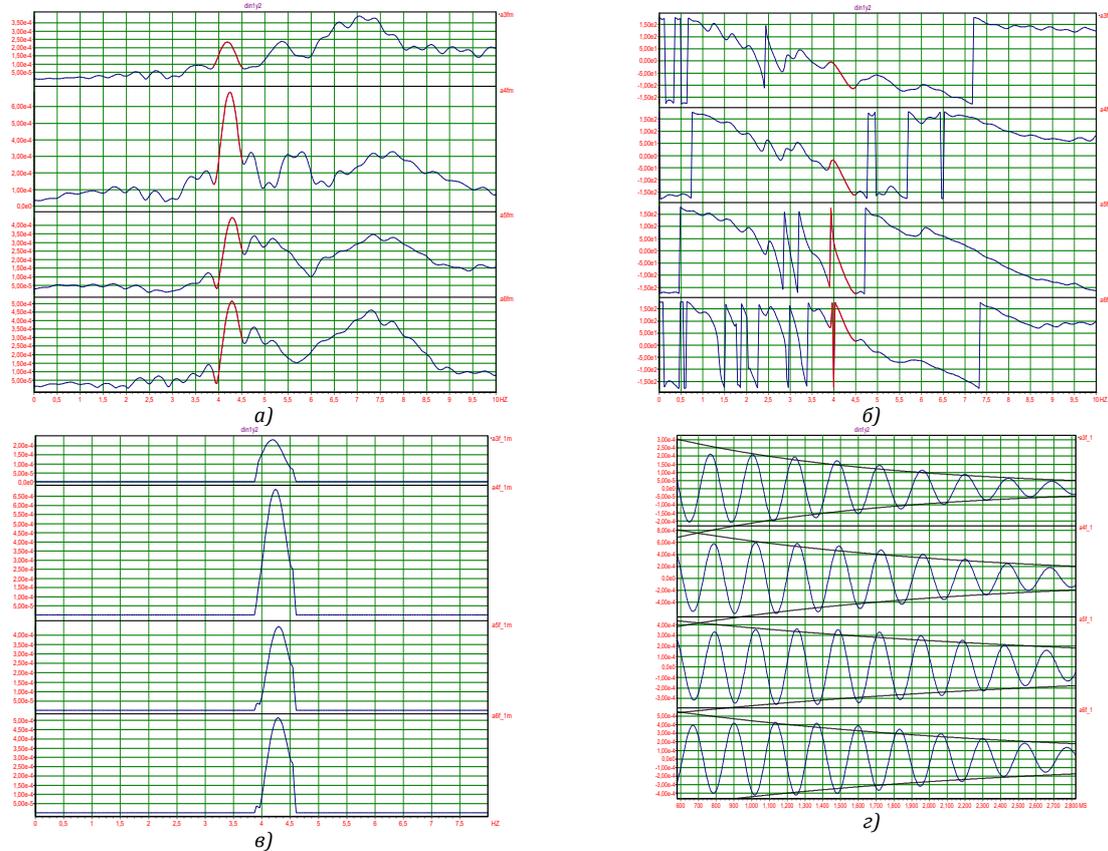


Рис. 4. Результаты измерений

Результаты измерений (модулей и фаз спектров Фурье и импульсные реализации по выделенным резонансным пикам, а также импульсная реализация

по выделенному пику с наложением экспонент затухания колебаний) приведены на рисунке 4.

В таблице 5 приведены вычисления периода собственного колебания различными способами.

а) Модули спектров Фурье реакций здания на ударное воздействие (выделен первый тон колебаний), б) Фазы спектров Фурье реакций здания

на ударное воздействие (выделен первый тон колебаний), в) Выделенный резонансный пик, первый тон, г) Импульсная реализация по выделенному пику с наложением экспонент затухания колебаний, первый тон.

Таблица 5

Период собственного колебания обследуемого здания различными способами			
Страна	Метод	Формула	Результат Период, сек.
Россия	ГОСТ 34081-2017	данные указаны в Прил. Ж ГОСТ 34081-2017	0.09...0.14
	Шахраманян М.А. и его сотрудники	$0.064n$	0.11...0.16
Сша	ASCE/SEI 7-10	$0.0488H^{0.75}$	0.187
	F.P. Ulrich and D.S. Carder method	$(0.01 \dots 0.035)H$	0.06...0.21
Результат эксперимента			0.235

Следует отметить, что результаты динамических испытаний сильно отличаются от оценок, выполненных с использованием эмпирических формул с эмпирической формулой Российских исследователей и от соответствующих результатов расчетов по формулам исследователей из США. Это указывает на то, что здание, по всей видимости, было сильно повреждено и имеет 3 степень повреждения в соответствии с таблицей 1.

Помимо видимых трещин, авторы утверждают, что основной причиной является ухудшение жесткостных характеристик материалов кладки стены, которое приводит к повышению периода собственных колебаний. Чтобы проверить гипотезу, необходимо

провести экспериментальное определение прочности кирпичных стен стены методом изгибных волн.

Суть метода состоит в возбуждении ударом изгибных волн в широком диапазоне длин волн, измерении их параметров и последующей обработке с целью разделения на монохроматические пучки, построение дисперсионных кривых и сравнения их с расчетными для различных конструкций. Подобное описание метода предоставлено в статьях [26–28]. Схема экспериментальных исследований приведена на рисунке 5. Результаты эксперимента приведены на рисунке 6, на котором показана дисперсионная кривая, характеризующая изменение отношения скоростей изгибных волн в зависимости от их длины.

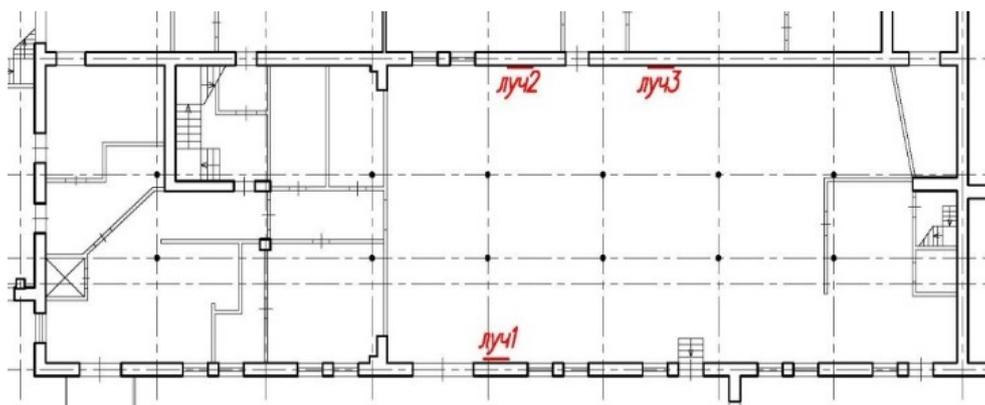


Рис. 5. Схема расположения лучей при оценке состояния кладки методом изгибной волны, 1^й этаж

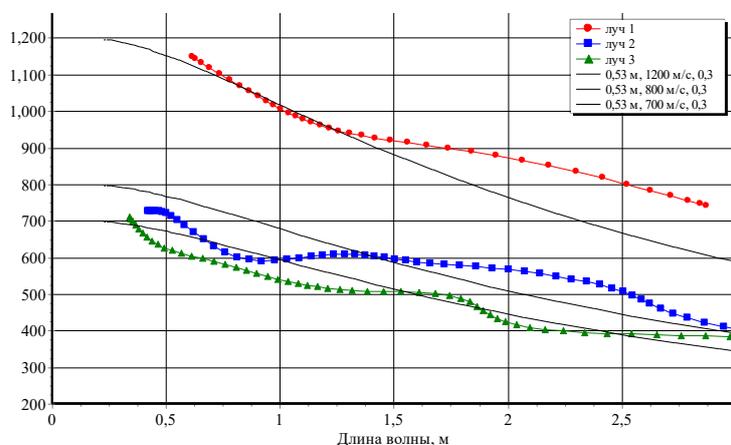


Рис. 6. Дисперсионные кривые изгибных волн в кладке

По результатам обследования построены дисперсионные кривые и определены скорости распространения рэлеевской волны V_R . По скорости рэлеевской волны в материале стен, используя

теорию упругости, легко найти значение скорости продольной волны V_P и определить упругие характеристики материалов конструкций E_d . Результаты после обработки данных дисперсионных кривых,

приведенные в таблице 6. Очевидно, что гипотеза о снижении периода собственных колебаний здания

по причине низкой прочности кладки кирпичных стен, полностью подтвердилась.

Таблица 6

Оценка жесткостных характеристик кладки зданий

Обследуемое здание	Диспер. кривые	V_R , м/с	V_P , м/с	E_d , МПа
			$V_P = V_R \sqrt{\frac{2(1-\mu_d)}{1-2\mu_d}} \cdot \frac{\mu_d + 1}{0,87 + 1,12\mu_d}$ (принято $\mu_d = 0,3$)	$E_d = \rho V_P^2 \frac{(1+\mu_d)(1-2\mu_d)}{1-\mu_d}$ (принято $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$)
Улица уткина, 6б	Луч 1	1200	2420	7395
	Луч 2	800	1613	3285
	Луч 3	700	1412	2518

Заключение

По результатам анализа эмпирических формул, применяемых в разных странах для оценки периода собственных колебаний зданий и сооружений по первой форме и численного моделирования, было установлено, что оценить значения искомых параметров можно с высокой точностью и удовлетворительным совпадением получаемых значений по данным ГОСТа 34081–2017 и исследования F.P. Ulrich and D.S. Carder.

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили возможность оценки жесткостных характеристик материалов строительных

конструкций методом сопоставления экспериментальных измерений периода собственных колебаний зданий и сооружений с нормативом либо с помощью численного моделирования. Использование комбинации двух экспериментальных методов (метод свободных колебаний и метод с использованием изгибных волн) позволяет не только оценить категорию технического состояния объекта, но и проверить гипотезу о возможных причинах таких ее снижения. Это дает надежные результаты об уровне повреждения здания при обследовании для реконструкции.

Список литературы

- Абаев З. К. Анализ сейсмостойкости конструктивных систем многоэтажных гражданских зданий / З. К. Абаев, М. Ю. Кодзаев, А. А. Бигулаев // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2020. – Т. 16, № 1. – С. 76–82. – DOI 10.22363/1815-5235-2020-16-1-76-82.
- Le T. L. Tần số dao động riêng của hệ kết cấu - yếu tố cơ bản trong phân tích động lực nhà cao tầng / T. L. Le // Hội nghị khoa học toàn quốc lần thứ hai về sự cố và hư hỏng công trình Xây dựng. – 2003. – С. 210–217.
- Nguyen A. D. Phương pháp xác định chu kỳ dao động riêng của nhà nhiều tầng / A. D. Nguyen // Tạp chí khoa học & công nghệ nông nghiệp. – 2019. – Т. 3, № 2. – С. 1337–1348.
- Шахраманьян М. А. Методика оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений / М. А. Шахраманьян, Г. М. Нигметов, З. Г. Гайфуллин, М. С. Бабусенко. – М.: МЧС России, 2003. – 85 с.
- Хазов П. А. Определение частот собственных колебаний многоэтажных зданий / П. А. Хазов, О. М. Кофорова // Евразийский союз ученых. – 2015. – Т. 13, № 4. – С. 83–86.
- Савин С. Н. Мониторинг уникальных объектов с использованием динамических параметров по ГОСТ Р 53778-210 / С. Н. Савин, И. В. Ситников, С. В. Демишин // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 7. – С. 33–39.
- Литвинова Э. В. Определение параметров динамических характеристик колебаний строительных конструкций, зданий и сооружений / Э. В. Литвинова // Строительство и техногенная безопасность. – 2017. – № 9 (61). – С. 93–100.
- Казаков В. Ю. Практические условия измерения динамических характеристик зданий / В. Ю. Казаков // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2013. – № 4 (9). – С. 71–73.
- Улыбин А. В. Измерение периодов и декрементов колебаний многоэтажных зданий / А. В. Улыбин // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения: материалы VIII Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 192–202.
- Савин С. Н. Использование упругих колебаний различных длин волн для оценки динамических параметров зданий и сооружений и прочности каменной кладки / С. Н. Савин // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2017. – № 4. – С. 43–54.
- Савин С. Н. Сейсmobезопасность зданий и территорий / С. Н. Савин, И. Л. Данилов. – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2014. – 216 с.
- Ha T. Damping and Natural Period Evaluation of Tall RC Buildings Using Full-Scale Data in Korea / T. Ha, S. H. Shin, H. Kim // Applied Sciences. – 2020. – № 10 (5). – С. 1568. – <https://doi.org/10.3390/app10051568>.
- Velani Pulkit Dilip. Approximate natural period expression for reinforced concrete tall buildings in India / Pulkit Dilip Velani, R. Pradeep Kumar // Current science. – 2023. – № 12 (124). – С. 1412–1421. – DOI 10.18520/cs/v124/i12/1412-1421
- Dima Daniel-Ioan. The fundamental vibration period determination for an existent historical monument building, by using numerical modelling, empirical and experimental (avt) methods / Daniel-Ioan Dima, Teodor Pavlu // Mathematical Modelling in Civil Engineering. – 2021. – № 1 (16). – С. 22–33. – DOI 10.2478/mmce-2021-0008.
- Hong L. L. Empirical formula for fundamental vibration periods of reinforced concrete buildings in Taiwan / L. L. Hong, W. L. Hwang // Earthq. Eng. Struct. Dyn. – 2000. – № 29. – С. 327–337. – DOI 10.1002/(SICI)1096-9845(200003)29:3<327::AID-EQE907>3.3.CO;2-S.
- Lagomarsino S. Forecast models for damping and vibration periods of buildings / S. Lagomarsino // J. Wind Eng. Indust. Aerodyn. – 1993. – № 48. – С. 221–239. – DOI 10.1016/0167-6105(93)90138-E.
- Kang S.-H. Fundamental period formulas for concrete shear wall buildings / S.-H. Kang, S.-G. Hong, H.-G. Park, L. Chung // Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea. – 2011. – № 15. – С. 29–38. – DOI 10.5000/EESK.2011.15.1.029.
- Le T. T. H. Xác định chu kỳ dao động riêng của nhà khung ở vùng chịu động đất / T. T. H. Le // Tạp chí KHCN Xây dựng. – 2011. – № 4. – С. 1–8.



19. Koçak Ali. Effects of Infill Wall Ratio on the Period of Reinforced Concrete Framed Buildings / Ali Koçak, Yıldırım M. Kasım // Advances in Structural Engineering. – 2011. – № 5 (14). – С. 731–743. – DOI 10.1260/1369-4332.14.5.731.
20. Koçak A. Effect of infill wall and wall openings on the fundamental period of RC buildings / A. Koçak, A. Kalyoncuoglu, B. Zengin // Earthquake Resistant Engineering Structures IX. – 2013. – № 132. – С. 121–131. – DOI 10.2495/ERES130101.
21. Nigmatov G., Savinov A., Nigmatov T., Savin S., Simonyan A. Dynamic-geophysical tests of the technical condition and earthquake-resistance of historical buildings / G. Nigmatov, A. Savinov, T. Nigmatov, S. Savin, A. Simonyan // AlfaBuild. – 2022. – № 21. – С. 60. – DOI 10.57728/ALF.21.1.
22. Smirnova E. Predicting the service life of buildings and facilities to minimize the risk of losses in the conditions of natural and technogenic emergency situations / E. Smirnova, S. Savin // 2019 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 652. – 2019. – 012010. – DOI 10.1088/1757-899X/652/1/012010.
23. Das S. Vibration-based damage detection techniques used for health monitoring of structures: a review / S. Das, P. Saha, S. K. Patro // J. Civil Struct Health Monit. – 2016. – № 6. – С. 477–507. – DOI 10.1007/s13349-016-0168-5.
24. Савин С. Н. Результаты обследования конструкций бочарных сводов большого пролета с использованием метода свободных колебаний / С. Н. Савин, И. В. Ситников, С. Ю. Привалов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2001. – № 6. – С. 3–7.
25. Savin S. The use of elastic oscillations of different wavelengths to evaluate the dynamic parameters of buildings and structures and assess the strength of materials of the building construction / S. Savin, V. Tsakalidis // COMPDYN 2015 - 5th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering. – 2015. – № 5. – С. 706–720.
26. Алешин Н. Н. Электросейсмоакустические методы обследования зданий / Н. Н. Алешин. – М.: Стройиздат, 1982. – 156 с.
27. Sitnikov I. V. Application of the method of surface waves for the inspection of building structures of buildings and structures / I. V. Sitnikov, A. G. Zhilenkov, L. I. Titova // Construction and architecture. Series: Earthquake-resistant construction. – 1996. – № 6. – С. 35–40.
28. Фан Ч. Д. Метод определения жесткостных характеристик строительных конструкций с использованием изгибных волн / Ч. Д. Фан, Д. А. Савин // Вестник гражданских инженеров. – 2022. – № 3 (92). – С. 28–34.
29. Синельщиков А. В. Влияние внешнего нагружения на изменения собственных частот и форм колебаний промышленного здания. Часть 1 / А. В. Синельщиков, Р. А. Завьялов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 4 (46). – С. 8–13.
30. Ишихара К. Поведение грунтов при землетрясениях / К. Ишихара; пер. с англ. под ред. А. Б. Фадеева, М. Б. Лисюка. – СПб.: Геореконструкция-Фундаментпроект, 2006. – 384 с.
31. Шебуняев А. Н. Обзор результатов исследований влияния колебаний на физико-механические свойства песчаных грунтов / А. Н. Шебуняев // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 3 (41). – С. 15–22.

© С. Н. Савин, Ч. Д. Фан

Ссылка для цитирования:

Савин С. Н., Фан Ч. Д. Контроль технического состояния зданий и сооружений по их динамическим характеристикам // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 1 (47). С. 20–27.

УДК 69.059.3
DOI 10.52684/2312-3702-2024-47-1-27-32

**ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК
ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ
ПОКРЫТИЯ ОБЪЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА**

Е. В. Гурова, Р. Х. Курамшин, А. А. Короткова, Г. И. Левшин, А. С. Машакарян

Гурова Елена Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Экспертиза и эксплуатация объектов недвижимости», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (903) 370-38-42; e-mail: kuramrenat@mail.ru;

Курамшин Ренат Хосяинович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Экспертиза и эксплуатация объектов недвижимости», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (906) 406-47-43; e-mail: kuramrenat@mail.ru;

Короткова Анастасия Александровна, магистрант, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (922) 457-88-44; e-mail: korotkova_2000@mail.ru;

Левшин Георгий Игоревич, магистрант, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (927) 531-22-45; e-mail: djnyumka@gmail.com;

Машакарян Арарат Сергеевич, магистрант, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (904) 439-78-58; e-mail: woozyroll@yandex.ru

Проведена оценка влияния особенностей режима эксплуатации объекта незавершенного строительства на параметры механической безопасности конструкций покрытия. Выполнен анализ влияния негативных внешних воздействий, в частности, повышенных пылевых отложений, на несущую способность элементов покрытия в сложившихся условиях эксплуатации. Разработан вариант усиления конструкций покрытия объекта строительства с изменением расчетной схемы его элементов, который позволяет довести параметры механической безопасности элементов покрытия до нормативных значений и обеспечить дальнейшую безопасную эксплуатацию объекта.

Ключевые слова: нагрузки и воздействия, эксплуатационная пригодность, обследование конструкций, поверочные расчеты, усиление конструкций, производственная пыль.