



15. Милейковский И. Е. Расчет тонкостенных конструкций / И. Е. Милейковский, С. И. Трушин. – Москва : Стройиздат, 1989. – 200 с.
16. Пимочкин В. Н. Методика определения основного параметра железобетона (ψ_s) при учете эффекта нарушения сплошности бетона и относительных взаимных смещений арматуры и бетона в изгибаемых железобетонных конструкциях / В. Н. Пимочкин, В. И. Колчунов // Известия Орловского государственного технического университета. 2007. – №3. – С. 46–52. 16
17. Kolchunov V. I. Progressive Collapse Behavior of a Precast Reinforced Concrete Frame System with Layered Beams / V. I., Kolchunov N. V. Fedorova, S. Yu. Sawin, P. A. Kaydas // Buildings. – 2024. – Vol. 14 (6), №. 1776.
18. Купчикова Н. В. Способ электростатической грануляции сероцемента / Н. В. Купчикова, Р. И. Шаяхмедов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 2 (44). – С. 37–41. – DOI: 10.52684/2312-3702-2023-44-2-37-41. – EDN FIXGJO.
19. Федоров В. С. Комплексная модель управления обеспечением пожарной безопасности высотных зданий / В. С. Федоров, Н. В. Купчикова, А. С. Реснянская // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования : материалы VI Национальной научно-практической конференции с международным участием, приуроченной ко Дню российской науки, Астрахань, 08–09 февраля 2023 года / под общ. ред. Т. В. Золиной. – Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 14–25. – EDN SFLRPB.
20. Федоров В. С. Конструктивная пожарная инженерия в управлении стадией проектирования высотного здания с учетом требований безопасности / В. С. Федоров, Т. В. Золина, Н. В. Купчикова, А. С. Реснянская // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 3 (41). – С. 141–144. – DOI: 10.52684/2312-3702-2022-41-3-141-144. – EDN CXZSEV.
21. Патент № 2730607 С1 Российская Федерация, МПК E02B 3/02, E02B 3/06. Подвижная берегозащитная шпора : № 2020107423 : заявл. 18.02.2020 : опубл. 24.08.2020 / Н. В. Купчикова, Р. И. Шаяхмедов, Т. В. Золина ; заявитель Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. – EDN VFZZKF.

© П. А. Кайдас, С. Р. Меликсетян, О. О. Коренькова

Ссылка для цитирования:

Кайдас П. А., Меликсетян С. Р., Коренькова О. О. Прочность монолитных и сборно-монолитных изгибаемых железобетонных элементов при различном характере диаграмм состояния бетона // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 3 (53). С. 11–16.

УДК 69.07

DOI 10.52684/2312-3702-2025-53-3-16-25

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВАНИИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

А. Ю. Курдюк, М. Вялый

Курдюк Андрей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство», Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (917) 080-12-37; e-mail: ayuk58@mail.ru;

Вялый Михаил, аспирант, Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (927) 554-46-08; e-mail: mav_kn@mail.ru

В условиях постоянного роста застройки многоэтажными зданиями, увеличения требований к их безопасности и энергоэффективности, а также все более частой реконструкции уже существующих своевременная оценка технического состояния зданий приобретает особую актуальность. Анализ взаимодействия компонентов системы «основание – фундамент – надземные конструкции» является необходимым для комплексной оценки безопасности строения в целом. Оценка остаточного ресурса является ключевым фактором для определения технического состояния, позволяет не только прогнозировать срок службы сооружений, но и принимать обоснованные решения о необходимости проведения ремонтных мероприятий, что способствует обеспечению безопасности данной системы в целом.

Ключевые слова: безопасность зданий и сооружений, остаточный ресурс, надежность, анализ, техническое состояние, вибродинамические испытания.

ENSURING THE SAFETY OF BUILDINGS AND STRUCTURES BASED ON THE RESIDUAL RESOURCE

A. Yu. Kurdyuk, M. Vyalyu

Kurdyuk Andrey Yuryevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Construction Department, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (917) 080-12-37; e-mail: ayuk58@mail.ru;

Vyalyu Mikhail, postgraduate student, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (927) 554-46-08; e-mail: mav_kn@mail.ru

In the context of the constant growth of multi-story buildings, increasing safety and energy efficiency requirements, as well as increasingly frequent reconstruction of existing buildings, timely assessment of the technical condition of buildings is becoming especially relevant. Analysis of the interaction of the components of the "base - foundation - above-ground structures" system is necessary for a comprehensive assessment of the safety of the building as a whole. Evaluation of the residual resource is a key factor in determining the technical condition, allows not only to predict the service life of structures, but also to make informed decisions on the need for repair measures, which helps to ensure the safety of this system as a whole.

Keywords: *safety of buildings and structures, residual life, reliability, analysis, technical condition, vibration-dynamic testing.*

Введение

Обеспечение безопасности зданий и сооружений является комплексной задачей, которая достигается за счет применения современных инженерных решений, проведения регулярных технических обследований, а также своевременное выполнение ремонтных и профилактических работ [1–3]. Важную роль играет правильное проектирование конструкций с учетом нагрузок, климатических условий и особенностей эксплуатации. Кроме того, безопасность обеспечивается за счет внедрения систем мониторинга состояния конструкций, контроля за износом и остаточным ресурсом [4]. Комплекс этих мер позволяет вовремя выявлять потенциальные угрозы и предотвращать аварийные ситуации, что, в свою очередь, гарантирует безопасность. В нормативной литературе отсутствуют конкретные численные значения параметров зданий и сооружений, используемых для определения их технического состояния. Вместо этого в документах обычно приводятся общие требования, рекомендации и методики оценки, которые требуют дальнейшей конкретизации. В результате для определения технического состояния зданий и сооружений необходимо использовать дополнительные методы диагностики, расчетные модели, экспертные оценки и аппаратно-программные комплексы, что позволяет более гибко и точно определить степень износа и остаточный ресурс конкретного объекта [5, 6].

Методы

Для проведения исследования были применены специальные и общенаучные методы. Отличительной чертой общенаучных является универсальность. Специальные методы основаны на использовании сложных приборных комплексов, внедрении новейших технологий. В данной работе взяты за основу органолептические методы (визуальное восприятие), методы измерения и сравнения. Органолептические методы применялись для выявления общего и особенного в процессах, определения тенденции их развития. Метод измерения использовался для получения конкретной величины при помощи общепринятых единиц измерения, которые позволяют получить сведения об изучаемом объекте, а метод сравнения – для сопоставления признаков и свойств двух или нескольких объектов. Данный метод исследования позволяет выявить элементы общего и найти отличия в процессах, событиях, определить ступени и тенденции их развития.

Результаты и обсуждение

Здания и сооружения подвержены воздействию различных внешних факторов, которые могут существенно влиять на их техническое состояние. К основным внешним воздействиям относятся климатические условия, такие как температура, влажность, осадки, ветровое воздействие. Эти факторы вызывают процессы коррозии, замерзания и оттаивания, а также механические деформации конструкций. Особенно опасными являются повторяющиеся или интенсивные динамические воздействия, которые могут приводить к накоплению микротрещин и снижению прочностных характеристик материалов. Все эти внешние факторы ухудшают техническое состояние зданий и сооружений: вызывают коррозию, разрушение материалов, деформации и трещины, что снижает безопасность эксплуатации [7, 8].

Проведение мероприятий по оценке технического состояния осуществляется в рамках специальных обследований зданий или их отдельных элементов. Так, например, в работе [9] акцентируется внимание на то, что заданы лишь минимально необходимые требования к методикам обследования с помощью аппаратно-программных комплексов, позволяющих оценить их техническое состояние, коррелируя его с численными значениями получаемых величин, а также порядок проведения инструментальных работ [10, 11]. Существует необходимость в разработке методов, позволяющих более объективно и достоверно классифицировать состояние объектов на основе числовых характеристик исследуемых параметров.

16 ноября 2023 года в Астрахани на Вокзальной площади произошло обрушение третьего и четвертого подъездов жилого дома [12], что, в свою очередь, вызвало интенсивные динамические воздействия на соседние строения. Такие воздействия могут стать причиной повреждения конструктивных элементов, трещин, деформаций или даже частичного разрушения зданий, особенно если их техническое состояние изначально было близко к предельным значениям.

Специалистами проектного офиса «Оценка надежности зданий и сооружений» на базе Института градостроительства Астраханского государственного технического университета осуществлено обследование технического состояния соседнего жилого дома. Целью обследования является определение влияния частичного обрушения здания, расположенного на Вокзальной площади, и выявление возможных повреждений,

деформаций и изменений в техническом состоянии конструктивных элементов. Такой анализ позволяет оценить степень уменьшения остаточного ресурса здания, определить его текущую безопасность эксплуатации [13]. В ходе обследования также устанавливаются возможные риски дальнейших разрушений или аварийных ситуаций, что важно для принятия решений о необходимости проведения ремонтных работ, усиления конструкций или демонтажа. В целом данная экспертиза является основой для комплексной оценки состояния здания и разработки мероприятий по его безопасной эксплуатации.

Конструктивная схема обследуемого здания стеновая, с продольными несущими стенами и железобетонными перекрытиями.

Объемно-пространственная композиция здания – в одном пятиэтажном объеме с совмещенной кровлей и организованным водоотведением прямоугольной формы в плане с размерами 68 × 12,57 м. Высота этажа – 2,70 м. Высота здания – 13,5 м. В здании имеется техническое подполье высотой 0,9 м.

В условиях ограниченных финансовых возможностей для масштабной модернизации строительного сектора особенно важным становится создание методов определения оставшегося ресурса объекта [14]. В основу одного из таких методов положена шкала экспертных оценок для определения физического износа, изложенная в ВСН 53-86(р) «Правила оценки физического

износа жилых зданий». Процесс определения физического износа зданий и сооружений включает визуальный и инструментальный осмотр, в ходе которого выявляются повреждения, трещины, деформации и т. п. Для каждого элемента или системы устанавливается коэффициент физического износа. Эти коэффициенты затем используются для расчета общего уровня износа здания, который выражается в виде соотношения между фактическим состоянием и первоначальной проектной надежностью. Итоговая величина физического износа служит основанием для определения технического состояния здания [15]. Именно данным методом пользуются при проведении мониторинга оснований зданий в условиях стесненной застройки [16], а также работники бюро технической инвентаризации при составлении технических паспортов на здания. У каждой конструкции или элемента можно выделить два параметра оценки: признаки износа (или качественная оценка) и количественная оценка. Все признаки разбиты по диапазонам физического износа, которым они соответствуют. В рамках одного диапазона износа может быть несколько признаков. В таком случае общий износ элемента считается исходя из количества показателей.

Физический износ несущих конструкций обследуемого здания в целом, согласно методике ВСН 53-86(р), составляет 33 % на период обследования и приведен в таблице. Техническое состояние здания оценивается как ограниченно работоспособное.

Таблица

Физический износ несущих конструкций обследуемого здания

№ п/п	Наименование элементов здания	Удельные веса укрупненных конструктивных элементов по сб. № 28, %	Удельные веса каждого элемента по таблице прил. 2, %	Расчетный удельный вес элемента $I_i \times 100, \%$	Физический износ элементов здания, %	
					По результатам оценки F_k	Средневзвешенное значение физического износа
1	2	3	4	5	6	7
1	Фундаменты	4	–	4	10	0.4
2	Стены	43	86	37	20	7.4
3	Перегородки	6	–	6	20	1.2
4	Перекрытия	11	–	11	20	1.1
5	Кровли	7	75	5.25	3.5	1.8
6	Покрытия	10	25	13	40	5.2
7	Лестницы	5	31	0.93	20	1.86
8	Балконы	10	24	20	70	14
9						32.96

Для дальнейшей оценки технического состояния объекта был проведен комплекс вибродинамических испытаний с помощью мобильного диагностического комплекса для экспериментального определения основных динамических характеристик строительных конструкций «Стрела-П». В этом комплексе применены современные помехоустойчивые измерительные модули. В про-

граммном обеспечении комплекса CentBox использованы последние научные достижения в алгоритмах сбора, обработки и анализа сигналов вибрации во временной и частотной областях [17].

В результате вибродинамических испытаний основных несущих элементов здания экспериментально определены основные динамические характеристики (частоты, периоды, логарифми-

ческие декременты и формы собственных колебаний здания), обнаружены фоновые непрерывные вынужденные колебания здания в области низких частот, вызванные ритмическими внешними воздействиями и определены параметры этих колебаний. Произведена оценка прочностного ресурса и технического состояния здания.



Рис. 1. Рабочее место оператора комплекса «Стрела-П», развернутое в помещении здания (иллюстрация автора)

Fig. 1. The operator's workplace of the Strela-P complex, deployed in the building (illustration by the author)

Метод микродинамических испытаний заключался в определении периода собственных колебаний, соответствующих ведущим формам, а также относительных перемещений конструкции в точках измерений. При этом в конструкциях здания возбуждались горизонтальные и вертикальные колебания в виде переходных процессов. Импульсное воздействие побуждало конструкцию совершать колебания на собственных частотах, но присущее системе демпфирование приводит к экспоненциальному затуханию колебаний. После прекращения действия вынуждающей силы отклик конструкции представлял собой комбинацию затухающих гармонических колебаний. Кратковременное силовое воздействие вызывало одновременное возбуждение всех форм собственных колебаний конструкции [18–20].

Вибрационные отклики конструкций здания (ускорения свободных колебаний) воспринимались измерительными модулями в частотном диапазоне от 0,1 до 200 Гц в трех пространственных направлениях: вертикальном (Z) и двух взаимно перпендикулярных горизонтальных (X – вдоль здания и Y – поперек здания). В базовом модуле сигналы оцифровывались встроенным аналого-цифровым преобразователем и передавались в компьютер, где регистрировались и подвергались анализу во временной и частотной областях с помощью программного пакета CentBox комплекса «Стрела-П».

Сигналы вибрации являлись нестационарными случайными процессами. Чтобы повысить соотно-

шение сигнал/шум и тем самым увеличить точность измерений при их обработке, использовались современные алгоритмы фильтрации и усреднение во времени откликов затухающих гармонических колебаний. Затем осуществлялся частотный анализ данных с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ) и преобразования Гильберта. Объем выборки, частота квантования и время анализа данных на компьютере с использованием программного обеспечения CentBox обеспечивали разрешение по частоте 0,05 Гц [19].

Примененная методика позволила экспериментально определить формы колебаний – распределение амплитуд колебаний здания по трем пространственным направлениям путем анализа изменения передаточных функций. Они вычислялись по частотным спектрам сигналов, полученным от измерительных модулей, которые расположены на здании. Колебания элементов здания составляли тысячные доли микрона и менее. При столь малых амплитудах колебаний строительные конструкции в целом считались линейными динамическими системами. Перед экспериментальным определением динамических характеристик блоков здания были измерены его фоновые колебания (без оказания дополнительных динамических воздействий).

Во всех пространственных направлениях сигналы имели практически одинаковую ритмическую форму, повторяющуюся через каждые 3,2 с. Амплитуды ускорений практически одинаковые. Максимальная амплитуда достигала 40 мкм/с². Максимальный спектральный пик находился на частоте 1,6 Гц. Формы и частоты собственных колебаний блоков здания определяли при анализе спектров экспериментальных сигналов границ тех частотных участков, которые соответствовали собственным колебаниям ведущих форм.

Для повышения точности экспериментального определения частот и логарифмических декрементов собственных горизонтальных колебаний блоков здания, согласно рекомендациям [19], строились и усреднялись формы и частоты собственных колебаний, полученные от вертикальных компонент точек измерений. Возбуждение колебаний блоков осуществлялось ударами пластичного груза по стене. Измерения собственных колебаний и логарифмических декрементов производились в подъездах №№ 2 и 3.

В качестве примера обработки собранных данных на рисунке 2 показаны графики сигналов ускорений колебаний блока здания, зарегистрированные в серии ударов по несущей кирпичной стене, которая расположена в подъезде № 2, а на рисунке 3 – сигналы, полученные в результате усреднения сигналов откликов здания на динамическую нагрузку.

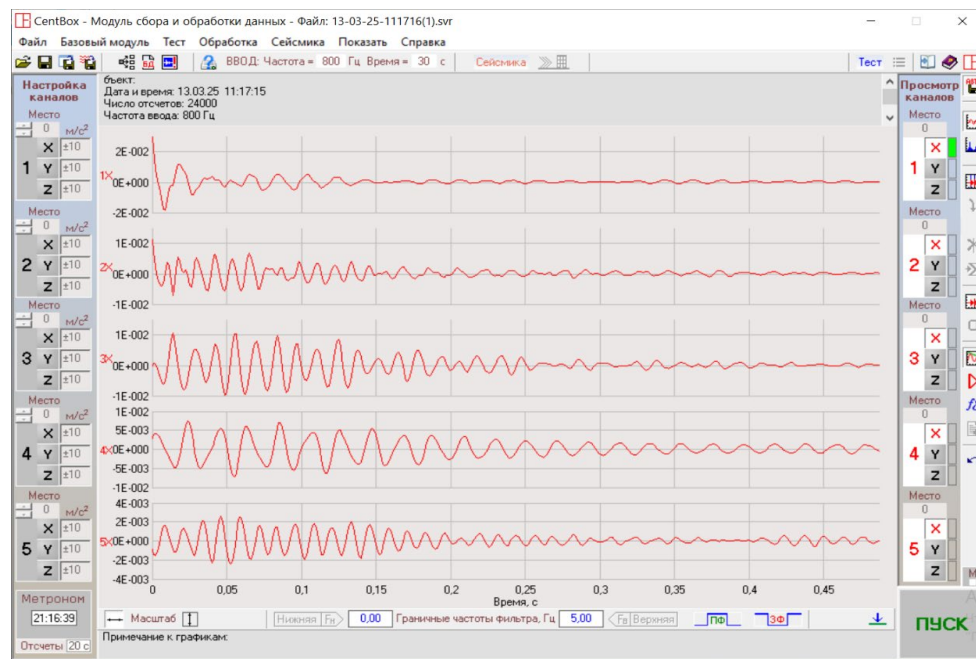


Рис. 2. Графики сигналов ускорений колебаний блока здания. Измерения в подъезде № 2 (иллюстрация автора)

Fig. 2. Graphs of the vibration acceleration signals of the building block. Measurements in entrance no. 2 (illustration by the author)

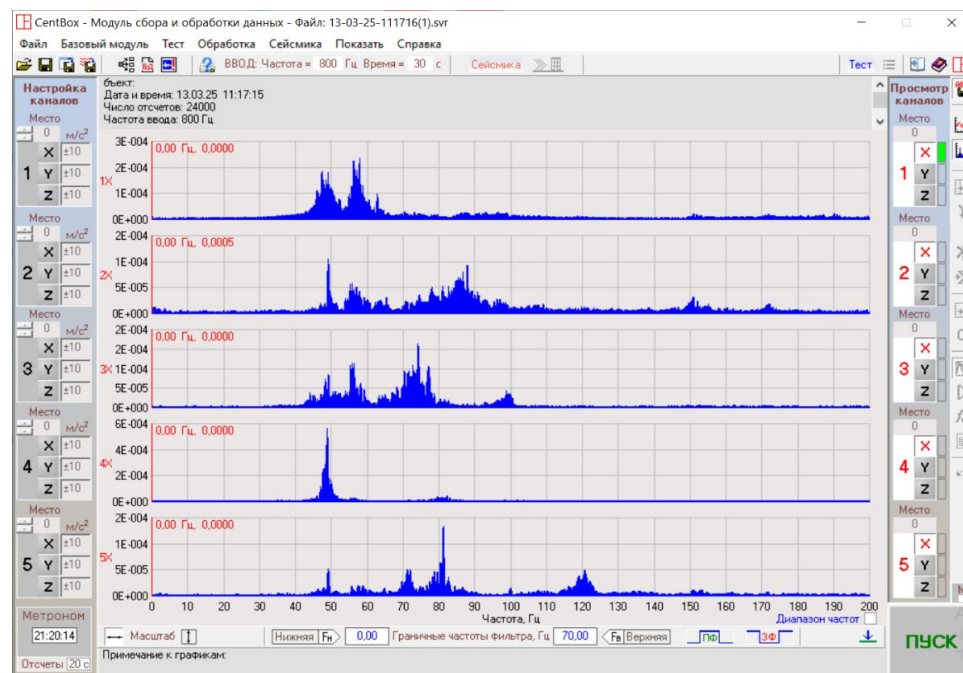


Рис. 3. Спектры, полученные в результате усреднения сигналов откликов здания на динамическую нагрузку. Измерения в подъезде № 2 (иллюстрация автора)

Fig. 3. Spectra obtained by averaging the building response signals to dynamic load. Measurements in entrance no. 2 (illustration by the author)

Экспериментальные значения частот и формы колебаний, измеренные в подъезде № 2, отличаются от расчетных значений частот и форм собственных колебаний. По полученным данным с помощью программного обеспечения CentBox комплекса «Стрела-П» определены экспериментальные значения частот, периодов и логарифмических декрементов ведущих форм собственных

горизонтальных колебаний блоков здания по оси Х (вдоль здания). Относительные амплитуды колебаний по оси Х (вдоль здания) приведены на рисунке 4. Таким образом, оценка жесткостного ресурса блоков здания показала, что их технический износ значительный. Величина остаточного ресурса здания составляет 51 % (тип здания: жилое кирпичное). Результаты приведены на рисунке 5.

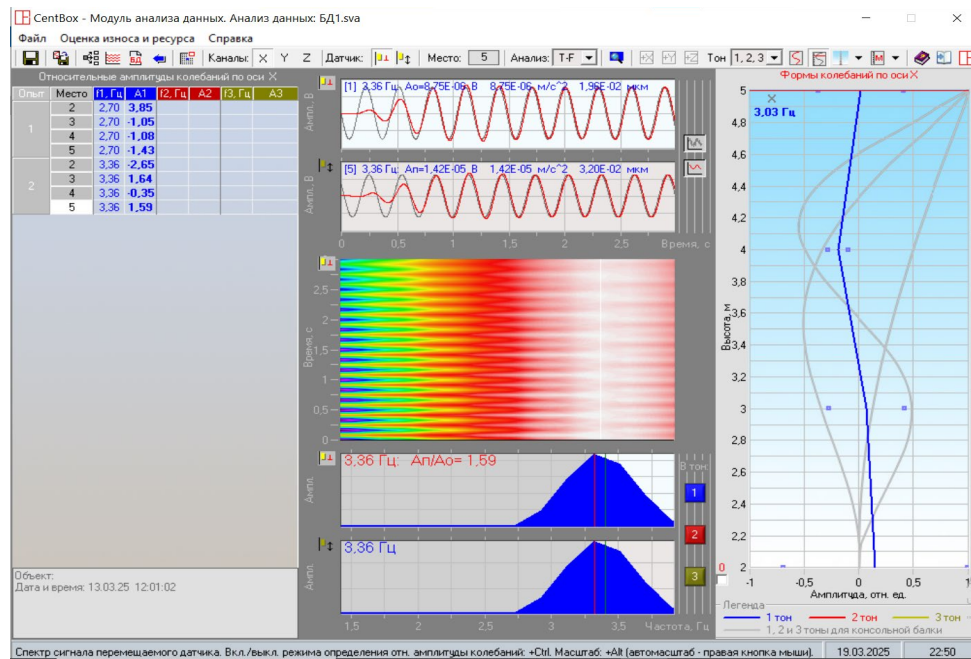


Рис. 4. Относительные амплитуды колебаний по оси X (вдоль здания)
(иллюстрация автора)
Fig. 4. Relative amplitudes of vibrations along the X axis (along the building)
(illustration by the author)

Скриншот программы CentBox - Модуль оценки физического износа и остаточного ресурса здания. Пользователь вводит высоту здания (15 м) и количество этажей (5). В таблице выбирается тип здания (Крупнопанельное) и направление (Вдоль здания). Результатом является расчетный износ и остаточный ресурс.

Рис. 5. Определение остаточного ресурса здания
по результатам вибродинамических испытаний
(иллюстрация автора)

Fig. 5. Determination of the residual life of a building based on the results of vibrodynamics tests
(illustration by the author)

В качестве еще одного примера обработки данных на рисунке 6 показаны графики сигналов ускорений колебаний блока здания, зарегистрированные в серии ударов по несущей кирпичной стене, которая расположена в подъезде

№3, а на рисунке 6 – сигналы, полученные в результате усреднения сигналов откликов здания на динамическую нагрузку.

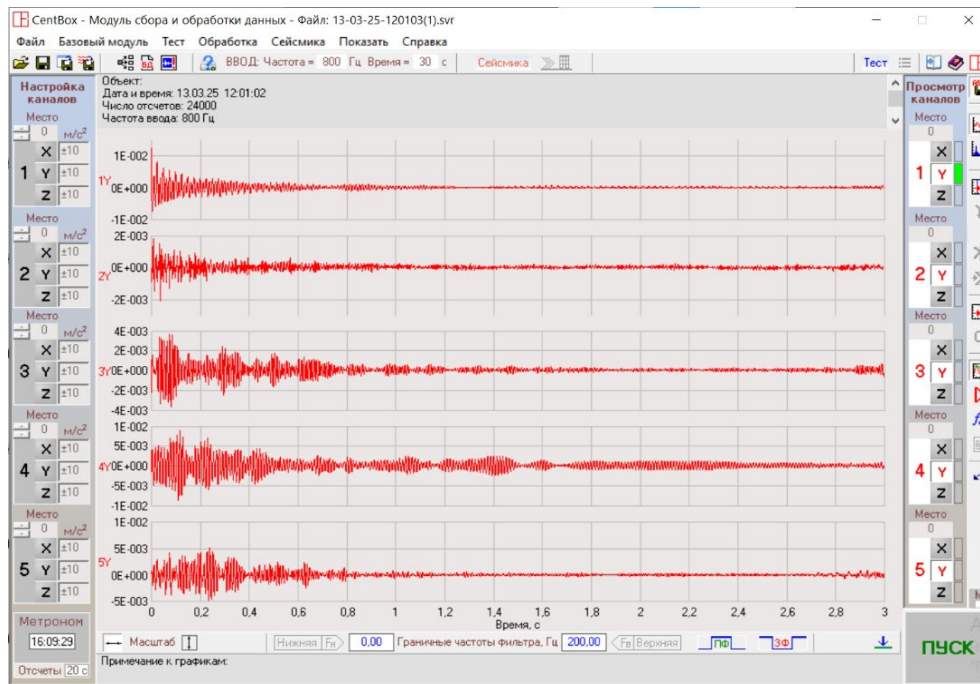


Рис. 6. Графики сигналов ускорений колебаний блока здания. Измерения в подъезде № 3
(иллюстрация автора)

Fig. 6. Graphs of the vibration acceleration signals of the building block. Measurements in entrance no. 3
(illustration by the author)

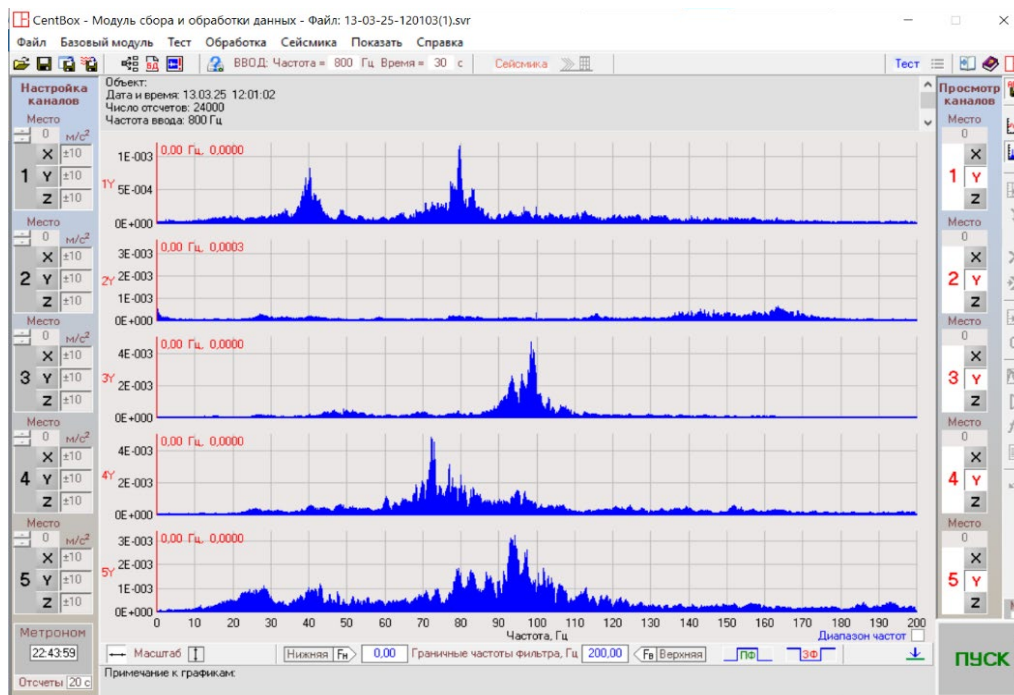


Рис. 7. Спектры, полученные в результате усреднения сигналов откликов здания на динамическую нагрузку.
Измерения в подъезде № 3
(иллюстрация автора)

Fig. 7. Spectra obtained by averaging the signals of the building's response to dynamic load.
Measurements in entrance no. 3
(illustration by the author)

Экспериментальные значения частот и формы колебаний, измеренные в подъезде № 3, оказались близки к расчетным значениям частот и формам собственных колебаний.

По полученным данным с помощью программного обеспечения CentBox комплекса «Стрела-П» определены экспериментальные значения частот, периодов и логарифмических декрементов

ведущих форм собственных горизонтальных колебаний блоков здания по оси Y (поперек здания). Относительные амплитуды колебаний по оси Y (поперек здания) приведены на рисунке 8. Оценка жесткостного ресурса блоков здания показала,

что их технический износ значительный. Величина остаточного ресурса здания составляет 72 % (тип здания: жилое кирпичное). Результаты приведены на рисунке 9.

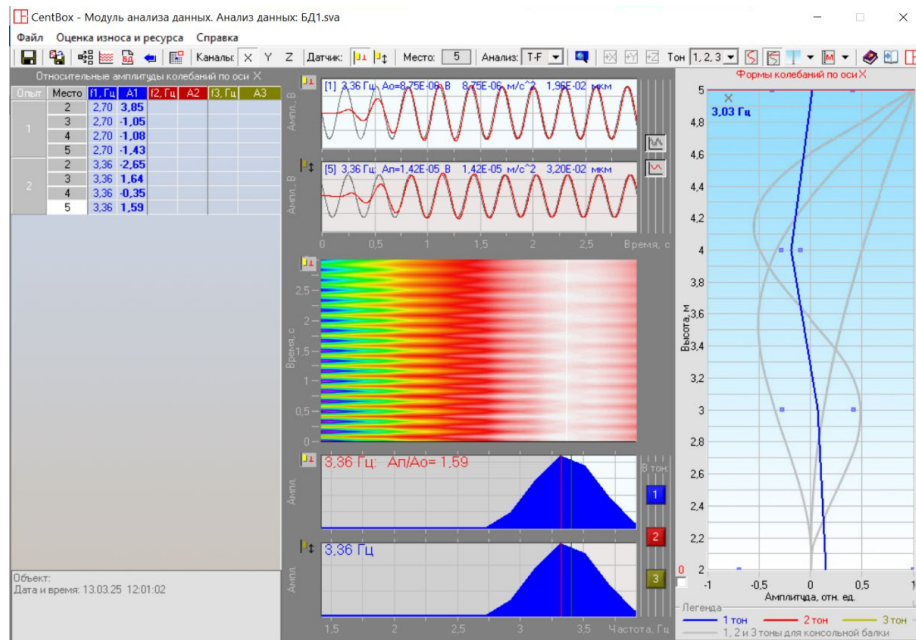


Рис. 8. Относительные амплитуды колебаний по оси Y (поперек здания)
(иллюстрация автора)

Fig. 8. Relative amplitudes of oscillations along the Y axis (across the building)
(illustration by the author)

Тип здания	Вдоль здания (продольное направление)	Поперек здания (поперечное направление)	Остаточный ресурс, %
Крупнопанельное	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 3.79, ИЗНОС, %: 36	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 3.79, ИЗНОС, %: 36	64
Каркасно-панельное	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 3.19, ИЗНОС, %: 10	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 3.19, ИЗНОС, %: 10	90
Кирпичное	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 4.26, ИЗНОС, %: 49	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 4.26, ИЗНОС, %: 49	51
Высотой более 40 м	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 3.03, ИЗНОС, %: 0	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 3.03, ИЗНОС, %: 0	-
Другого типа	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 3.03, ИЗНОС, %: 0	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 3.03, ИЗНОС, %: 0	-

Тип здания	Вдоль здания (продольное направление)	Поперек здания (поперечное направление)	Остаточный ресурс, %
Жилое крупнопанельное	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 4.44, ИЗНОС, %: 53	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 4.44, ИЗНОС, %: 53	47
Жилое кирпичное или каменное, крупноблочное	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 3.57, ИЗНОС, %: 28	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 3.57, ИЗНОС, %: 28	72
Школьное или другое с большими проемами	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 3.08, ИЗНОС, %: 3	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 3.08, ИЗНОС, %: 3	97
С каркасом из монолитного железобетона	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 3.13, ИЗНОС, %: 6	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 3.13, ИЗНОС, %: 6	94
Со стальным каркасом	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 2.50, ИЗНОС, %: 0	Эксп., Гц: 3.03, Расч., Гц: 2.50, ИЗНОС, %: 0	100

Рис. 9. Определение остаточного ресурса здания по результатам вибродинамических испытаний
(иллюстрация автора)

Fig. 9. Determination of the residual life of a building based on the results of vibrodynamic tests
(illustration by the author)



Для проверки достоверности полученных результатов и выводов с использованием диагностического комплекса «Стрела-П» произведено сравнение двух методов. Величина остаточного ресурса здания находится в интервале 51–72 %. Так как обследование производилось во втором и третьем подъездах (удельные веса каждого подъезда составляет по 25 %) их физический износ равен: $49 \times 0,25 + 28 \times 0,25 = 33,25$. Техническое состояние здания оценивается как ограниченно работоспособное. Сравнивая значения физического износа и остаточного ресурса, можно сделать вывод, что разница в их показателях равна 0,3 %. То есть величины остаточного ресурса и физического износа, полученные разными методами, коррелируются между собой.

Заключение

Таким образом, в результате проведенного сравнительного анализа можно заключить, что применение современных аппаратно-программных комплексов позволяет осуществить досто-

верную и комплексную оценку технического состояния объекта. Важно отметить, что техническое состояние выражено в числовых значениях путем определения его остаточного ресурса.

Накопление и систематизация инструментальных измерений остаточного ресурса зданий и сооружений представляют собой важный шаг к более точному и объективному оцениванию их технического состояния и, следовательно, обеспечению безопасности эксплуатации. Регулярное проведение таких измерений позволяет не только отслеживать динамику износа конструктивных элементов, но и устанавливать взаимосвязь между уровнем остаточного ресурса и фактическим техническим состоянием здания. В результате формируется база данных, которая способствует систематизации показателей и повышает точность прогнозирования срока службы строений, планов технического обслуживания и ремонта или необходимости вывода из эксплуатации отдельных конструкций, узлов, секций или всего здания в целом.

Список литературы

1. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – Дата введения 2015-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 15 с.
2. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. – Москва : ЦНИИПромзданий, 2001. – 101 с.
3. Российская Федерация. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : федеральный закон Российской Федерации № 384-ФЗ от 30.12.2009 // КонсультантПлюс. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
4. Лежнина Ю. А. Датчиковое обеспечение систем динамического мониторинга зданий и сооружений / Ю. А. Лежнина, Т. В. Золина // Каспий в цифровую эпоху : материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием в рамках Международного научного форума «Каспий-2021: пути устойчивого развития», Астрахань, 27 мая 2021 года. – Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2021. – С. 580–582. – EDN QJBCUO.
5. Кузнецов В. Современные методы диагностики строительных конструкций / В. Кузнецов, А. Сидоров, Е. Иванова // Строительная механика. – 2020. – № 3. – С. 12–20.
6. Евдокимов С. В. Оценка технического состояния строительных конструкций и объектов в процессе мониторинга / С. В. Евдокимов, А. А. Орлова // Строительство и техногенная безопасность. – 2022. – № S1. – С. 98–103.
7. Федеральные нормы и правила в области оценки технического состояния зданий (ФНП № 3). – Москва : Минстрой России, 2020.
8. Методика оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений. – Москва : МЧС России, 2003.
9. Набиев Р. А. К вопросу об обеспечении безопасности строительства в сложных инженерно-геологических условиях / Р. А. Набиев, А. Ю. Курдюк // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 4 (50). – С. 23–27.
10. ГОСТ 26433.2-94. Правила выполнения измерений параметров зданий и сооружений. – Дата введения 1996-01-01. – Москва : Издательство стандартов, 1996. – 49 с.
11. ГОСТ 31937-2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – Дата введения 2014-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 59 с.
12. В Астрахани обрушилась часть дома. 16 ноября 2023 // РИА Новости. – Режим доступа: <https://ria.ru/20231116/dom-1909904216.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
13. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – Дата введения 2003-08-21. – Москва : Госстрой России, ГУП ЦПП, 2004. – 31 с.
14. Золина Т. В. Порядок проведения обследований здания с целью последующей оценки его остаточного ресурса / Т. В. Золина // Вестник МГСУ. – 2014. – № 11. – С. 98–108. – EDN SZCFRC.
15. ВСН 53-86р. Методика определения физического износа зданий и сооружений. – Москва : Госстрой РФ, 1986.
16. Набиев Р. А. Мониторинг основания здания в условиях стесненной застройки / Р. А. Набиев, А. Ю. Курдюк, С. В. Устюгов, Д. П. Дисяев // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2016. – № 4 (18). – С. 36–43.
17. ЦИЭКС.42.5800-01.34. Аппаратно-программный мобильный диагностический комплекс для экспериментального определения основных динамических характеристик строительных конструкций «Стрела-П» : руководство оператора. – Москва : ЦИЭКС, 2018.
18. Гусев В. В. Вибродинамические методы исследования строительных конструкций / В. В. Гусев, А. П. Иванов, Е. А. Смирнова // Строительная механика и динамика. – 2018. – № 4. – С. 45–52.

19. ЦИЭКС.42.5800-01.34. Аппаратно-программный мобильный диагностический комплекс для экспериментального определения основных динамических характеристик строительных конструкций «Стрела-П». Программное обеспечение CentBox 11. – Москва : ЦИЭКС, 2018.

20. Кадомцев М. И. Вибродиагностика строительных конструкций / М. И. Кадомцев, А. А. Ляпин, Ю. Ю. Шатилов // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 3 (21). – С. 576–579.

© А. Ю. Курдюк, М. Вялый

Ссылка для цитирования:

Курдюк А. Ю., Вялый М. Обеспечение безопасности зданий и сооружений на основании остаточного ресурса // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 3 (53). С. 16–25.

УДК 69.059.032

DOI 10.52684/2312-3702-2025-53-3-25-31

ПРИМЕНЕНИЕ ЭВОЛЮЦИОННО-СТАБИЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

И. Н. Гарькин

Гарькин Игорь Николаевич, кандидат исторических наук, кандидат технических наук, заведующий кафедрой архитектуры, реставрации и дизайна, Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, г. Москва, Российская Федерация, тел.: + 7 (909) 321-98-78; e-mail: igor_garkin@mail.ru

В данной работе рассматривается применение концепции эволюционно-стабильной стратегии в строительной инженерии с целью оптимизации эффективности работы строительных конструкций. Предлагается инновационный подход к проектированию и эксплуатации инженерных систем, который базируется на принципах теории игр и эволюционной биологии. Концепция эволюционно-стабильной стратегии предполагает поиск таких решений при проектировании конструкций, которые устойчивы к появлению альтернативных стратегий и обеспечивают долгосрочную надежность и адаптивность конструкций к внешним воздействиям. В рамках исследования подробно анализируются методы адаптации отдельных структурных элементов и целых конструктивных систем к изменяющимся условиям эксплуатации, включая переменные нагрузки, климатические и техногенные факторы. Для этого используются специальные алгоритмы, построенные по аналогии с процессами естественного отбора, когда менее эффективные решения постепенно элиминируются, а наиболее приспособленные и устойчивые подходы сохраняются и тиражируются в новых инженерных проектах. В ходе численных экспериментов, проведенных с различными типами строительных конструкций, была продемонстрирована значительная прибавка в их эксплуатационных характеристиках: применение методов эволюционно-стабильной стратегии позволило повысить эффективность работы на 15–25 % относительно традиционных схем проектирования. Такой прирост достигается за счет более рационального распределения материалов, улучшения устойчивости к экстремальным воздействиям и способности конструкций к самоадаптации в условиях неопределенности.

Ключевые слова: эволюционно-стабильная стратегия, строительные конструкции, оптимизация, теория игр, адаптивные системы, структурная эффективность.

APPLICATION OF EVOLUTIONARY-STABLE STRATEGY TO INCREASE THE EFFICIENCY OF BUILDING STRUCTURES

I. N. Garkin

Garkin Igor Nikolaevich, Candidate of Historical Sciences, Candidate of Technical Sciences, Head of Architecture, Restoration and Design Department, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russian Federation, phone: + 7 (909) 321-98-78; e-mail: igor_garkin@mail.ru

This paper examines the application of the evolutionary stable strategy concept in construction engineering to optimize the performance of building structures. An innovative approach to the design and operation of engineering systems is proposed, which is based on the principles of game theory and evolutionary biology. The evolutionary stable strategy concept involves searching for solutions in the design of structures that are resistant to the emergence of alternative strategies and ensure long-term reliability and adaptability of structures to external influences. The study analyzes in detail the methods of adapting individual structural elements and entire structural systems to changing operating conditions, including variable loads, climatic and man-made factors. For this purpose, special algorithms are used, built by analogy with the processes of natural selection, when less effective solutions are gradually eliminated, and the most adapted and sustainable approaches are preserved and replicated in new engineering projects. Numerical experiments conducted with various types of building structures demonstrated a significant increase in their operational characteristics: the use of evolutionary stable strategy methods allowed increasing the efficiency of work by 15–25 % compared to traditional design schemes. Such an increase is achieved due to a more rational distribution of materials, improved resistance to extreme impacts and the ability of structures to self-adapt under uncertainty.

Keywords: evolutionary stable strategy, building structures, optimization, game theory, adaptive systems, structural efficiency.