

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО
ХОЗЯЙСТВА/ENVIRONMENTAL SAFETY OF CONSTRUCTION AND URBAN ECONOMY**DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82> EDN: TVYEWS**ПРИМЕНЕНИЕ ДИНАМИКО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

Научная статья

Ратиани И.З.^{1,*}, Акатьев В.А.², Нигметов Г.М.³, Нигметов Т.Г.⁴, Савинов А.М.⁵^{1,2} Российский государственный университет имени А. Н. Косыгина, Москва, Российская Федерация^{3,4,5} Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ratiani1998[at]mail.ru)

Предложена: 02.04.2026; Принята: 06.05.2026; Опубликовано: 18.05.2026

Аннотация

При длительной эксплуатации промышленных объектов сверх расчетного срока службы под влиянием экстремальных сейсмических, взрывных, снеговых, ветровых, вибрационных и температурных воздействий в несущих конструкциях могут возникать как видимые, так и скрытые дефекты, включая аварийные. Своевременное обнаружение скрытых повреждений, объективный анализ текущего состояния и сейсмической устойчивости комплекса «основание-фундамент-сооружение», а также его ключевых элементов, требует применения современных высокоточных диагностических технологий. Стандартные методы обследования часто оказываются недостаточными для комплексной оценки единой системы «грунт-сооружение». После проведения восстановительных работ на здании с ранее зафиксированными повреждениями появляется потребность в быстром и надежном контроле качества ремонта, а также в определении реального технического состояния и сейсмостойкости объекта с учетом выполненных мероприятий по усилению. Для решения этих задач, в частности для оценки уровня опасности поврежденных конструкций и подтверждения несущей способности отремонтированных зданий, рекомендуется использовать метод динамики-геофизических испытаний.

Ключевые слова: динамика-геофизические испытания, грунт-сооружение, колебания, жесткость сооружения, техническое состояние.

**THE USE OF DYNAMIC GEOPHYSICAL TESTS TO EVALUATE THE TECHNICAL CONDITION OF
INDUSTRIAL AND RESIDENTIAL BUILDINGS**

Research article

Ratiani I.Z.^{1,*}, Akatjev V.A.², Nigmatov G.M.³, Nigmatov T.G.⁴, Savinov A.M.⁵^{1,2} Kosygin Russian State University, Moscow, Russian Federation^{3,4,5} All-Russian Scientific Research Institute on Civil Defense and Emergency Situations of the Russian Ministry of Emergency Situations, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (ratiani1998[at]mail.ru)

Suggested: 02.04.2026; Accepted: 06.05.2026; Published: 18.05.2026

Abstract

During the prolonged operation of industrial facilities beyond their design service life, under the influence of extreme seismic, explosive, snow, wind, vibration and temperature loads, both visible and hidden defects—including critical ones—may develop in load-bearing structures. The timely detection of hidden damage, an objective analysis of the current condition and seismic stability of the "ground-foundation-structure" complex, as well as its key elements, requires the use of modern, high-precision diagnostic technologies. Standard inspection methods often prove insufficient for a complex assessment of the integrated "soil-structure" system. Following restoration work on a building with previously recorded damage, there is a need for rapid and reliable quality control of the repairs, as well as for determining the actual technical condition and seismic resistance of the structure, taking into account the reinforcement measures carried out. To solve these problems, in particular to assess the level of risk posed by damaged structures and to confirm the load-bearing capacity of repaired buildings, it is recommended to use the method of dynamic geophysical testing.

Keywords: dynamic geophysical testing, soil-structure interaction, vibrations, structural stiffness, technical condition.

Введение

Оценка технического состояния здания проводится непосредственно после чрезвычайной ситуации или получения разрушений, а также по истечению 2–5 лет его эксплуатации. Если техническое состояние здания будет оценено как «аварийное» или «ограниченно-работоспособное» (с опасностью перехода в аварийное техническое состояние), дальнейшая эксплуатация его будет запрещена. Следует иметь в виду, что особое место в определении категории здания по результатам контроля имеет техническое состояние фундамента и грунтового основания. Для оперативной оценки технического состояния необходимы надежные методы диагностики системы «грунт-здание». Особую трудность диагностирования представляют здания, подвергшиеся сильному динамическому воздействию и отсутствию

возможности обнаружить дефекты визуальными методами. Для указанных сложных случаев оценка технического состояния должна выполняться для системы «грунт-здание» с учетом их интегральной жесткости [1], [2], [3]. При этом метод должен сочетать в себе оперативную диагностику всей системы «грунт-здание», а также проверку отдельных элементов системы.

Научная новизна работы состоит в создании метода динамико-геофизического обследования транспортной галереи и жилого дома, пострадавших от пожара, с применением комплекса «Струна». Впервые определены количественные показатели уменьшения частот собственных колебаний, используемые для оценки остаточного ресурса конструкций, подвергшихся термическому воздействию. Разработанный метод даёт возможность быстро обнаруживать участки снижения прочности в протяженных объектах и классифицировать уровень их повреждений без необходимости разрушающего контроля.

Методы и принципы исследования

Вопросы диагностики сооружений динамико-геофизическим методом были рассмотрены А. Х. Авгуцевичем и Г. М. Нигметовым. В их трудах [3], [4] отмечается, что указанный метод, реализуемый с помощью мобильного комплекса «Струна», позволяет определять интегральную жёсткость строительных объектов по характеристикам их собственных колебаний.

Оперативность инженерной диагностики строений и конструкций может быть повышена при использовании дронов [5], что позволяет существенно уменьшить время выполнения процедур (с недель до суток), уменьшить расходы на обследование и гарантировать защиту персонала благодаря дистанционному изучению опасных и сложных участков (высокие сооружения, восстановленные объекты после аварий и пожаров).

Применение комбинации аналитических и численных методов, как показывают отдельные исследования [6], даёт хорошую сходимость по собственным частотам сооружения, получаемым дистанционными и контактными измерениями, демонстрируя потенциал данного метода для контроля состояния объектов и дифференциации влияния окружающей среды от фактических повреждений.

В рамках изучения динамических свойств грунтов некоторыми авторами [7] детально рассмотрены сейсмические подходы, основанные на анализе особенностей распространения упругих колебаний. Указанные особенности позволяют определять плотность, деформационные модули и жесткость грунтовых массивов, а также обнаруживать участки возможной неустойчивости при действии статических и динамических сил, таких как сейсмическая активность или техногенные вибрации.

С помощью сейсморазведки и электромагнитных методов другие авторы [8] определили распределение скоростей упругих волн в подстилающих грунтах, что необходимо для оценки их жесткости и деформационных свойств при динамических нагрузках. Ключевым элементом стали пассивные сейсмические измерения (микросейсмы) внутри и снаружи здания, позволившие определить резонансную частоту грунтовой толщи (0,9–1,2 Гц) и собственные частоты колебаний церкви (2,7–3,2 Гц).

В рамках изучения динамических вопросов статья [9] акцентирует внимание на статической составляющей: обнаружении областей выветривания, пустотных пространств и насыщенных водой каналов. В ней отмечается, что эти элементы могут провоцировать неравномерную осадку и снижение устойчивости фундаментных конструкций под воздействием вибрационных или сейсмических сил. Исследователи отмечают, что идентификация подобных неоднородностей является ключевой для предсказания поведения грунтового основания в динамических условиях, хотя непосредственные динамические тесты (сейсмические исследования или регистрация микросейсмичности) авторами не выполнялись.

2.1. Методология и особенности проведения работ

Проведение работ начинается с расстановки датчиков на объекте. Для оперативной оценки достаточно измерений с использованием 1-3-5 датчиков. Первый датчик ставится на грунте, второй датчик ставится на среднем уровне, третий датчик ставится на максимальной возможной высоте.

При расстановке датчиков следует руководствоваться следующими требованиями:

- оси датчиков должны быть направлены одинаково для всех датчиков;
- датчики должны быть установлены на поверхности конструкции, надежно передающей собственные колебания;
- для надежного получения собственных колебаний датчики необходимо устанавливать в районе ядер и диафрагм жесткости.

Все варианты расстановки датчиков на объекте отображаются на схемах.

Для каждого варианта расстановки датчиков производится не менее 8 измерений.

Принципы определения доминирующих частот в системе «Струна» основываются на обработке спектра зафиксированных вибраций.

Оборудование комплекса работает в интервале от 0,1 до 400 (150) Гц, что даёт возможность регистрировать вибрации сооружений различной конструкции и степени изношенности. Методом спектрального анализа выделяются максимумы, которые соответствуют собственным (резонансным) частотам сооружения, рассматриваемого как целостный объект. Предпочтение отдается тем частотам, которые обладают наибольшей амплитудой колебаний. Корректность выбранных частот проверяется путем сравнения с информацией из проектной документации или действующих нормативных требований.

После преобразования сигналов от датчиков из аналоговой формы в цифровую выполняется их цифровая фильтрация с целью подавления помех. Специальное программное обеспечение проводит анализ АЧХ и спектров регистрируемых колебаний. Программный комплекс определяет частоты собственных колебаний конструкции. Данный анализ представляет собой комплексную оценку системы «сооружение-основание», направленную на установление её интегральной жёсткости. Применение специализированного программного обеспечения даёт

возможность быстро обрабатывать большие массивы данных. Пользователь может выбирать длительность регистрации сигнала в диапазоне от 64 до 4096 миллисекунд. Графическое представление и отчётность: Система предоставляет данные, необходимые для формирования заключения об отнесении здания к определённой категории технического состояния.

Измерения рекомендуется проводить в утренние или вечерние часы при минимальных техногенных помехах. Температура окружающей среды должна быть в пределах рабочих характеристик компонентов комплекса (обычно от – 20 до +40 °С), а относительная влажность воздуха — не более 80%. Датчики устанавливаются на твёрдые, очищенные от загрязнений участки конструкций в трёх взаимно перпендикулярных направлениях.

Оценка точности полученных результатов производится в 3 этапа. Изначально выполняется метрологическое обеспечение — калибровка оборудования и настройка обработки сигналов. Далее выполняется статистическая обработка данных — расчет коэффициента вариации и оценка разброса результатов. Конечным этапом является сопоставление данных с независимыми прямыми измерениями. Допустимое расхождение при этом составляет не более 25%.

2.2. Выбор метода для оперативного НК технического состояния здания

Для оперативной оценки состояния зданий способы визуального контроля и локальных измерений не в полной мере пригодны. Визуальные методы применимы для оценки внешних дефектов конструкций, но не позволяют выявить скрытые дефекты, требуют проведения экспертных оценок. Методы определения локальной прочности не дают представления о техническом состоянии здания в целом. Кроме того, методы неразрушающего контроля, являясь косвенными, имеют большие погрешности, для них необходимы калибровочные кривые, получение которых связано с применением прямых разрушающих методов. Геодезические методы позволяют получить локальные и общие по зданию данные по геометрии, однако, сегодня методик оценок состояния здания по изменениям геометрических данных не создано. Их можно рассматривать как локальные вспомогательные методы, не оценивающие техническое состояние здания. Динамико-геофизический метод, являясь интегральным методом, позволяет оценить техническое состояние системы «грунт-здание» (см. табл.1).

Таблица 1 - Результаты сравнения методов обследования систем «грунт-здание»

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.1>

№	Способ	Инструментарий	Параметры контроля	Результаты контроля
1	Визуальный	Фотоаппарат, линейка, штангенциркуль, рулетка, щупы	Видимые дефекты: трещины, вывалы кирпича, оголения, коррозия арматуры и др.	Локальная оценка, без получения данных о скрытых дефектах, необходимость экспертных оценок
2	Прочностной	Ультразвуковые и ударные приборы для измерения прочности	Прочность	Точечная локальная оценка прочности, без оценки технического состояния в целом
3	Геодезический (высокоточная оценка геометрии системы «грунт-здание»)	Высокоточные спутниковые геодезические приемники, теодолит, нивелир, тахеометр, рулетка	Крены, уклоны, прогибы, просадки	Локальные и интегральные данные по геометрии здания. Отсутствуют методы оценки состояния по изменению геометрии
4	Геофизический	Георадар, сейсмический разведывательный комплекс «Лаколит»	Строение и физико-механические свойства грунта	Локальные данные, не позволяет оценить техническое состояние
5	Динамико-геофизический	Мобильный программно-аппаратный комплекс «Струна»	Жесткость зданий и сооружений	Интегрально позволяет оценить техническое состояние системы «грунт-здание»

Из табл.1 видно, что для детальных расчетов на трехмерных моделях с использованием локальных подходов необходим обширный набор исходных параметров: данные о кренах, осадках, армировании и характеристиках материалов. Достоверность итоговых выводов в этом случае полностью определяется точностью и всесторонностью собранных сведений. Напротив, интегральную оценку жесткости и фактического состояния системы «грунт-здание» обеспечивают динамико-геофизические испытания. Данная методика рассматривает здание как реально функционирующую конструктивную систему, предоставляя обобщенную характеристику объекта без необходимости кропотливого моделирования множества локальных факторов.

Все методы обследования можно разделить на локальные и интегральные (см. табл. 1). Наибольшее распространение получили локальные методы обследования, которые используются для сбора исходных данных о системе «грунт-здание», с помощью локальных методов оценки технического состояния можно сделать только после расчетов на трехмерных моделях. Точность расчетов будет зависеть от достоверности и количества, полученных исходных данных по нагрузкам, геометрии здания (кренам, просадкам, прогибам), сечениям конструкций (армированию), степени коррозии арматуры, физико-механическим характеристикам несущих и вспомогательных конструкций, грунтов и другим параметрам. Современные численные модели требуют значительных умений и смекалки, чтобы заложить в модели, трещины, переменное сечение конструкций, коррозию арматуры, разные типы узлов на одном конструктивном элементе. С другой стороны, строительный объект, это реально существующая конструктивная схема и задачей обследователя является правильное проведение эксперимента, чтобы получить его интегральную жесткость (табл.1). Интегральную оценку жесткости и технического состояния здания можно получить только методом динамико-геофизических испытаний. Под интегральной жесткостью понимается величина, зависящая от конструктивной схемы, геометрии и прочности здания пропорциональная квадрату частоты собственных колебаний (1):

$$f^2 = K \left(\frac{EJ}{m} \right)^{1/2} \quad (1)$$

где f — частота собственных колебаний строительного объекта;

K — коэффициент, учитывающий геометрию и конструктивную схему строительного объекта или его элемента;

EJ — жесткость строительного объекта;

m — масса строительного объекта.

Для выполнения динамических испытаний многоэтажного, многоподъездного здания, оценки его интегральной жесткости и технического состояния с применением метода динамико-геофизических испытаний производится расстановка трехкомпонентных акселерометров в каждом подъезде на нижних и верхних этажах. Применяются акселерометры с частотным диапазоном (0,1–400) Гц. С помощью преобразования Фурье производится спектральный анализ полученных ускорений по осям X, Y и Z. Выбираются основные частоты собственных колебаний. Производится сравнение полученных из испытаний частот с нормативными значениями частот. Нормативные частоты получают расчетными численными методами или с применением эмпирических формул [1], [3], [11], [14].

2.3. Оценка технического состояния транспортной галереи динамико-геофизическим методом

Обследуемое сооружение выполнено из двух объемов. В осях 7-11/В-Ж — здание приводной станции, в осях 7-1/Ж-Д — конвейерная транспортная галерея. Обследуемое здание приводной станции транспортной галереи представляет собой надземное сооружение, предназначенное для размещения электроприводов валков транспортера. Основные технические характеристики приводной станции представлены в табл.2.

Таблица 2 - Основные технические характеристики приводной станции

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.2>

№ п/п	Наименование обследуемого элемента	Характеристика параметра (или элемента) сооружения
1	Фундаменты	Монолитные железобетонные, из бетона марки М200. Класс прочности В15
2	Этажность	3-х этажное
3	Стены	Стеновые ограждения выполнены из сборных железобетонных панелей марки ТСП и ПСЛ, изготовлены по серии СТ-02-31 вып. I, II
4	Колонны	Колонны здания выполнены из стальных двутавров с ребрами жесткости, раскрепленные вертикальными крестовыми связями, изготовленными из парных равнополочных уголков
5	Фермы	Стальные, пролетом L — 18 м. Элементы ферм выполнены из

№ п/п	Наименование обследуемого элемента	Характеристика параметра (или элемента) сооружения
		стальных парных равнополочных уголков и прокатных швеллеров.
6	Перекрытия	Перекрытие на отм. + 13,100 выполнено из железобетонных ребристых плит по типовому альбому серии ИИ-24-2 по стальным балкам и частично из монолитных железобетонных участков. Перекрытие на отм. +19,400 выполнено из монолитного железобетона по стальным балкам
7	Покрытие	Покрытие здания выполнено из железобетонных ребристых плит ПНТП, размером 12,0 × 3,0 м, по стальным фермам
8	Крыша/ Кровля	Плоская. Рулонные гидроизоляционные материалы.

Обследуемое здание конвейерной транспортной галереи представляет собой надземное сооружение, состоящее из опор и пролетного строения. Конструктивная схема галереи (моста) состоит из 2-х статических неопределимых ферм с затяжками в каждом пролете. Основные технические характеристики конвейерной транспортной галереи представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Основные технические характеристики конвейерной транспортной галереи

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.3>

№ п/п	Наименование обследуемого элемента	Характеристика параметра (или элемента) сооружения
1	Фундаменты	Фундамент опоры стаканного типа
2	Этажность	Одноэтажное
3	Наружные стены и внутренние стены	Стеновые ограждение галереи (моста) выполнены из сэндвич-панелей, а также из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе на противопожарных участках галереи
4	Опоры	В осях «1–5» выполнены из железобетона цилиндрической формы диаметром 6000 мм, толщина стенки составляет 400 мм. По оси «7» выполнена стальная опора из стальных двутавров сечением 400х18 мм.
5	Фермы	Несущие конструкции галереи (моста) состоят из 2-х статически неопределимых ферм с затяжками в каждом пролете. Для обеспечения пространственной жесткости галереи (моста), по концам ферм предусмотрены жесткие порталы рамного типа
6	Перекрытия	Железобетонные ребристые плиты перекрытия изготовлены в соответствии с типовым

№ п/п	Наименование обследуемого элемента	Характеристика параметра (или элемента) сооружения
		альбомом серии ИИ – 24 – 2 по стальным балкам
7	Покрытие	Покрытие галереи (моста) выполнено из железобетонных ребристых плит ПА Ш-6а, размером 3,0 × 3,0 м, по стальным балкам
8	Крыша / Кровля	Плоская. Рулонные гидроизоляционные материалы.
9	Состояние сооружения	Удовлетворительное

План сооружения на отм. +0,000 представлен на рис. 1.

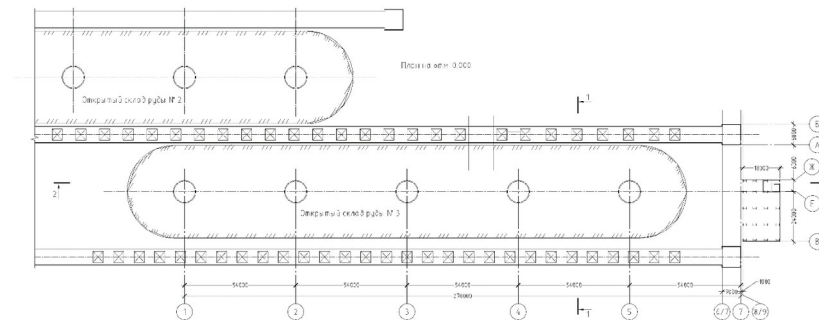


Рисунок 1 - План сооружения на отм. +0,000
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.4>

Продольный и поперечный разрезы сооружения даны на рис.2-3.

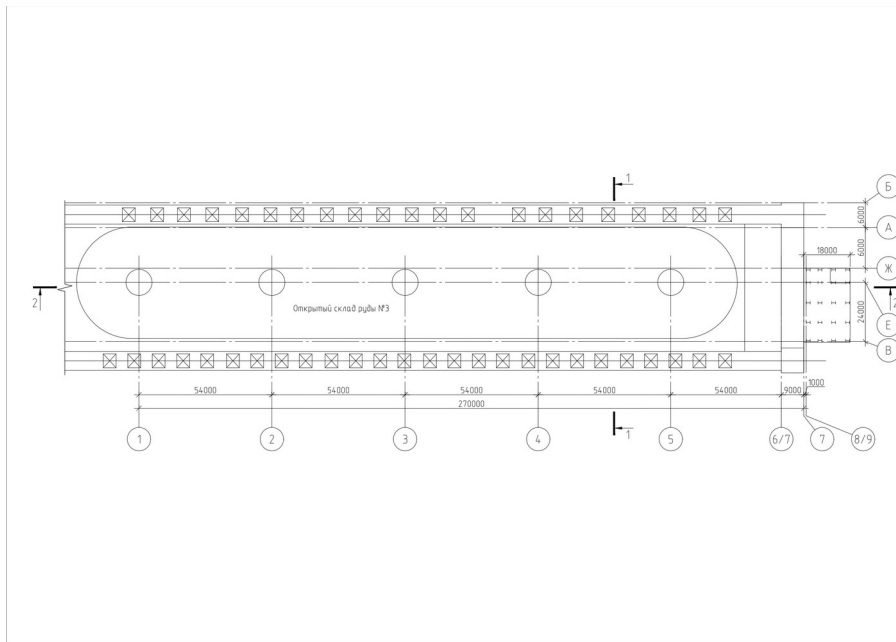


Рисунок 2 - План сооружения на отм. +0,000
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.5>

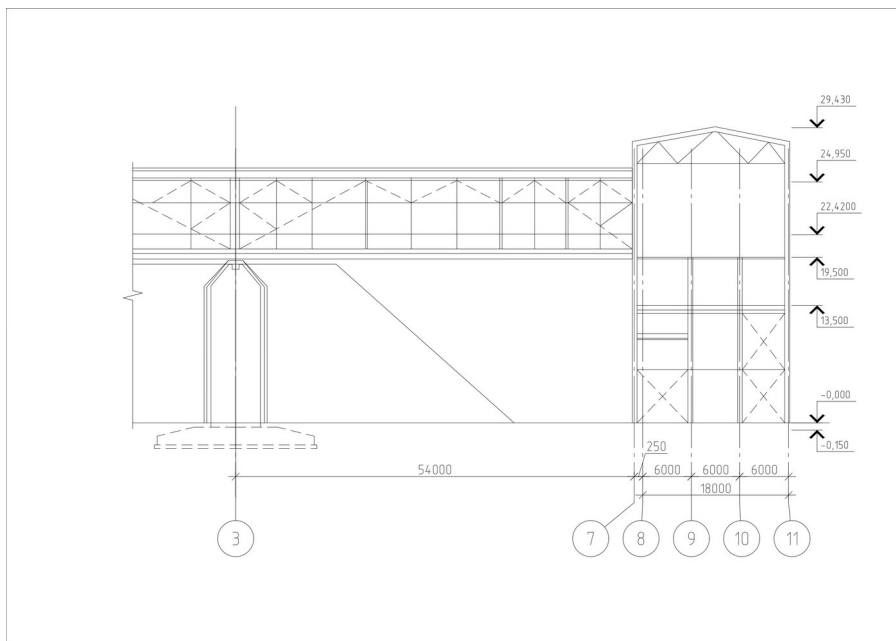


Рисунок 3 - Продольный разрез сооружения
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.6>

Датчики расставлялись в пролетах: 1-2-3-4-5-7-11. Схема расстановки датчиков представлена на рис.4. Кроме того, датчики дополнительно были размещены и внутри сооружения.

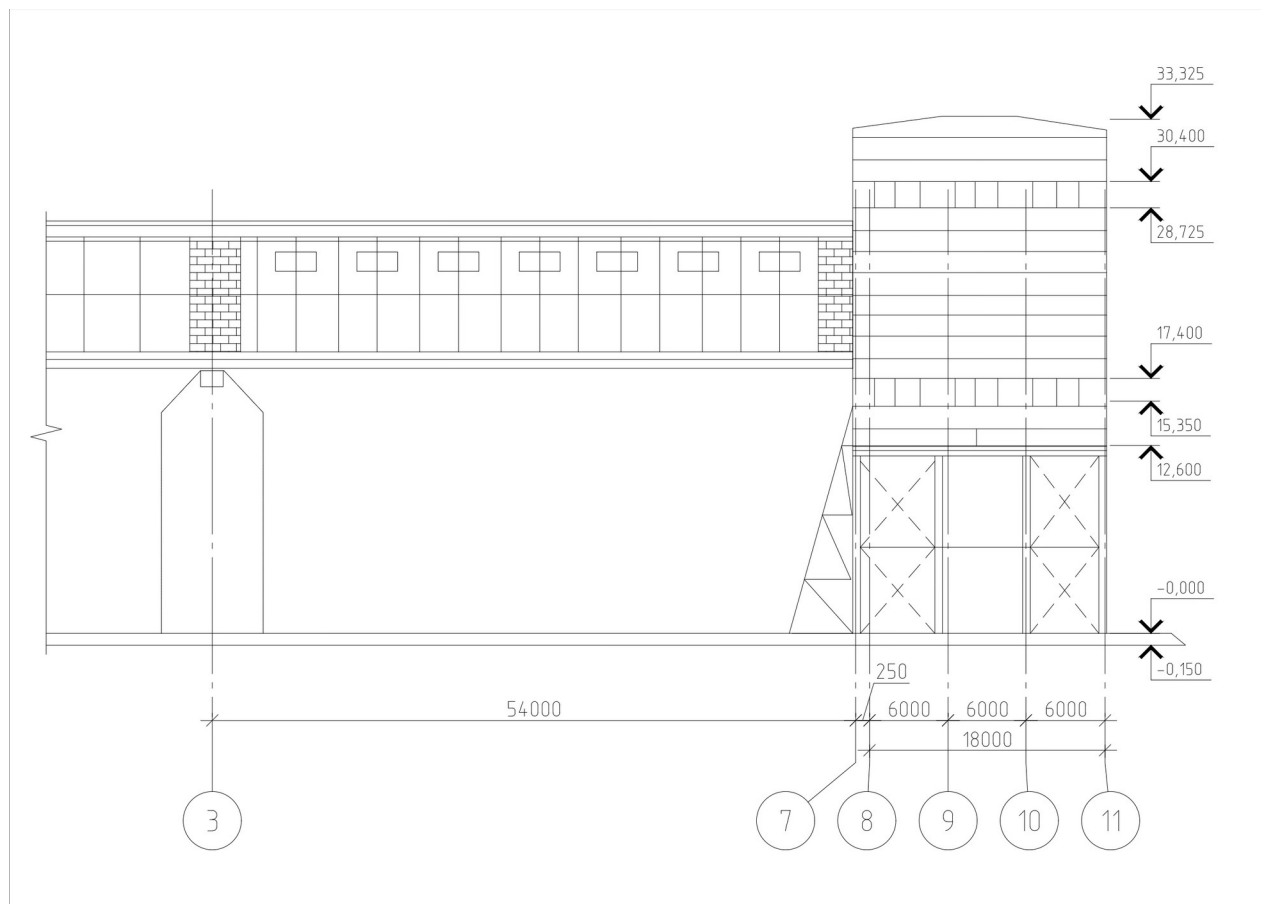


Рисунок 4 - Схема расстановки датчиков в осях 5-7
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.7>

Динамические испытания сооружения и его конструктивных элементов с оценкой влияния динамических нагрузок и возможных скрытых дефектов на жесткость были проведены с применением мобильного диагностического комплекса «Струна» (рис.5).

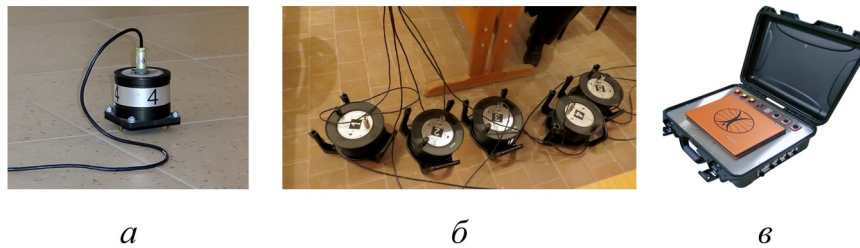


Рисунок 5 - Мобильный диагностический комплекс «Струна»:
 а - измерительный модуль; б - соединительный измерительный кабель; в - базовый модуль
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.8>

В процессе динамических испытаний были измерены параметры: колебаний грунта в основании сооружения и колебаний сооружения в местах расстановки датчиков по высоте (рис. 6).



Рисунок 6 - Установка датчиков в осях 1-2-3-4-5-7 галереи и приводной станции
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.9>

В результате испытаний были получены периоды собственных колебаний и ускорения транспортной галереи и приводной станции (табл. 6).

Таблица 4 - Результаты динамико-геофизических испытаний транспортной галереи

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.10>

Место установки датчиков	F_x , Hz	F_y , Hz	F_z , Hz	F_{xyz} , Hz	D_x	D_y	D_z
Пролет 5 (оси 1-2)	3,35	1,55	2,60	4,515	0,266	0,379	0,500
Пролет 4 (оси 2-3)	2,80	1,60	2,85	4,12	0,485	0,916	0,370

Место установки датчиков	F_x , Hz	F_y , Hz	F_z , Hz	F_{xyz} , Hz	D_x	D_y	D_z
Пролет 3 (оси 3-4)	2,75	1,70	2,70	4,212	0,197	0,276	0,273
Пролет 2 (оси 4-5)	2,75	1,60	2,75	4,21	0,693	0,314	0,350
Пролет 1 (оси 5-7)	2,70	1,55	3,40	4,61	0,485	0,284	0,200
Здание приводной станции	1,60	1,10	4,90	5,27	0,073	0,236	0,244

Получены спектры (рис.7 – рис.9) и акселерограммы колебаний сооружения (рис.10 – рис.12).

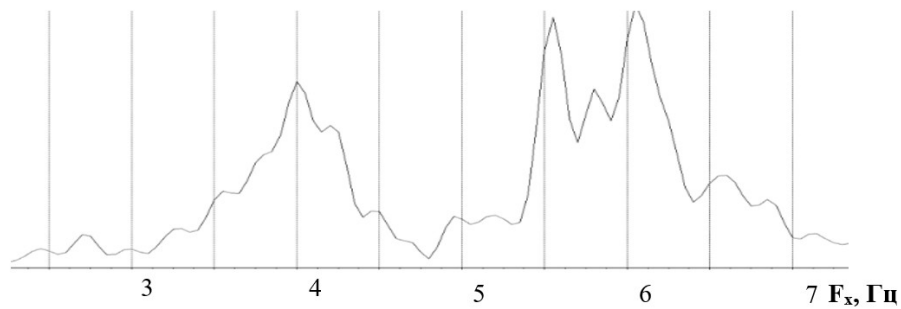


Рисунок 7 - Спектр колебаний по оси X
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.11>

Примечание: пролет в осях 1-2

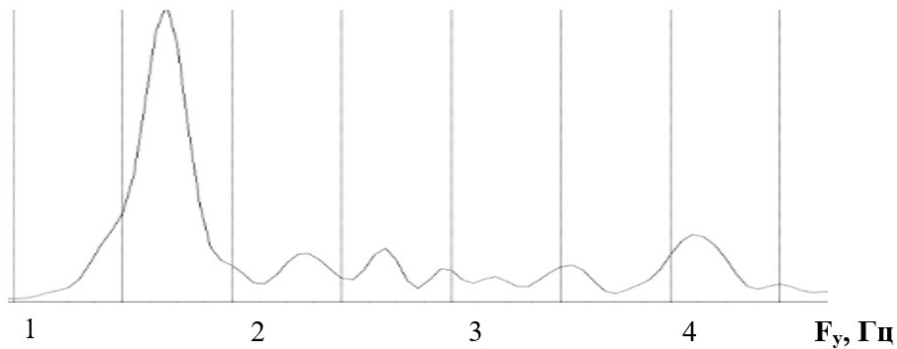


Рисунок 8 - Спектр колебаний по оси Y
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.12>

Примечание: пролет в осях 1-2

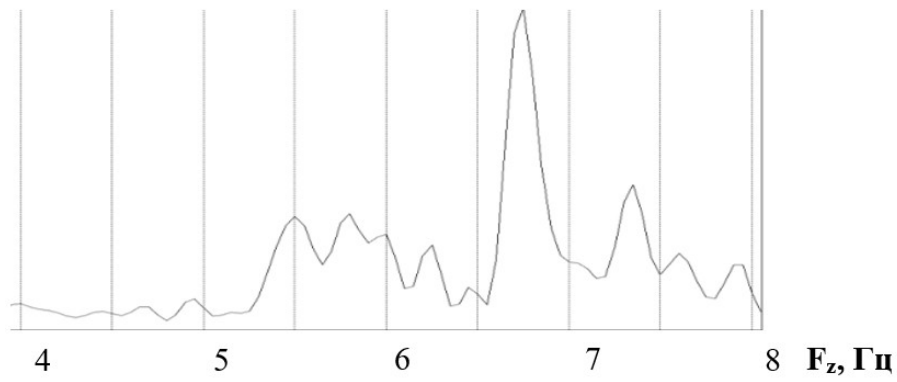


Рисунок 9 - Спектр колебаний по оси Z
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.13>

Примечание: в осях 1-2

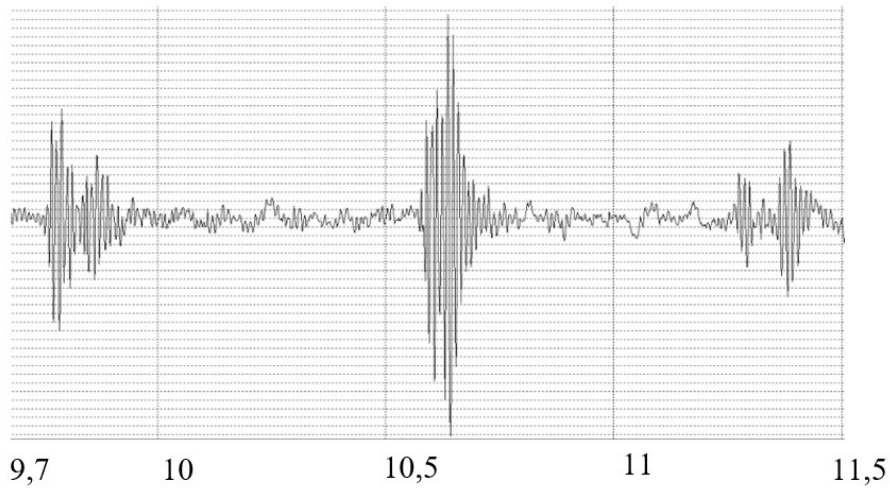


Рисунок 10 - Акселерограмма колебаний по оси X
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.14>

Примечание: в осях 4-5

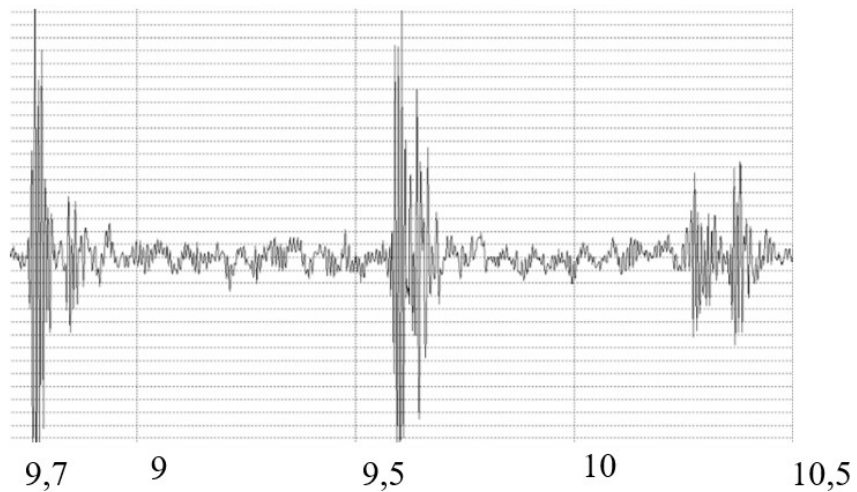


Рисунок 11 - Акселерограмма колебаний по оси Y
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.15>

Примечание: в осях 4-5

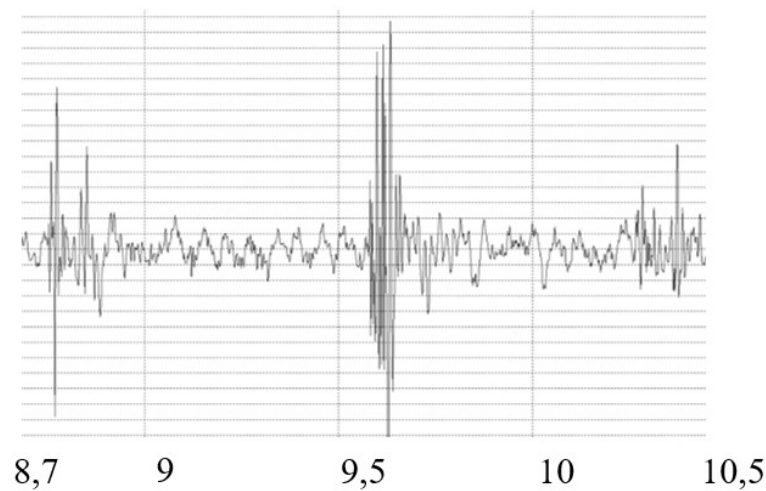


Рисунок 12 - Акселерограмма колебаний по оси Z
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.16>

Примечание: в осях 4-5

Для оценки категории технического состояния сооружения было выполнено сравнение нормативных значений частот собственных колебаний сооружения, с экспериментально полученными значениями. Получены нормативные значения частот собственных колебаний сооружения, (табл.7).

Таблица 5 - Нормативные значения частот сооружения

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.17>

Сооружение	[F _x], Гц	[F _y], Гц	[F _z], Гц	[F _{xyz}], Гц
Транспортная галерея	5,058	2,020	2,240	5,89
Приводная станция	1,730	1,520	2,100	3,12

Процент относительного снижения жесткости (квадрата частоты собственных колебаний) сооружения при его различных состояниях представлен в табл. 8.

Таблица 6 - Категория технического состояния сооружения в зависимости от процентного снижения его жесткости по сравнению с начальным ее значением

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.18>

Тип сооружения	Проектное	Работоспособное	Ограниченно-работоспособное	Тяжелые повреждения (аварийное)	Катастрофическое повреждение (аварийное)
С железобетонным каркасом	0-25	25-43	43-57	57-71,4	71,4-100
С металлическим каркасом	0-16,7	16,7-33	33-50	51-67	67-100
Кирпичное	0-16,7	16,7-33	33-50	50-75	75-100
Деревянное	0-20	20-27	27-40	40-67	67-100

Процент относительного снижения жесткости сооружения при его различных состояниях представлен в табл. 9.

Таблица 7 - Дефицит жесткости сооружения, полученный по результатам динамических испытаний, по осям x, y, z

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.19>

Сооружение	Δx , %	Δy , %	Δz , %	Δxyz , %	Техническое состояние
Пролет 5 (оси 1-2) транспортной галереи	56	41,12	10	41,24	Ограниченно-работоспособное
Пролет 4 (оси 2-3) транспортной галереи	69,35	37,26	10	51,1	Ограниченно-работоспособное
Пролет 3 (оси 3-4) транспортной галереи	70,44	20,465	10	48,86	Ограниченно-работоспособное
Пролет 2 (оси 4-5) транспортной галереи	70,44	37,26	10	48,9	Ограниченно-работоспособное
Пролет 1 (оси 5-7) транспортной галереи	71,54	41,12	10	38,74	Ограниченно-работоспособное
Здание приводной станции	14,5	47,63	10	10	Работоспособное

Обсуждение полученных результатов

3.1. Выводы

По оси X (вдоль галереи) сооружение транспортной галереи в пролетах 1–4 (табл. 8,9) находится в «аварийном» техническом состоянии, по осям X, Y, Z — в «ограниченно-работоспособном» техническом состоянии.

Здание приводной станции находится в «ограниченно-работоспособном» состоянии по оси X, Y, по осям X, Y, Z сооружение станции находится в «работоспособном» техническом состоянии.

Для повышения жесткости пролетов 1–5 транспортной галереи по оси X рекомендуется выполнить замену или ремонт поврежденных ребристых плит галереи.

3.2. Оценка технического состояния жилого здания после аварии и восстановления

В результате взрыва бытового газа в 6-м подъезде 9-ти этажного многоподъездного дома были повреждены несущие конструкции (рис.13–14). Здание крупнопанельное с несущими наружными стенами, поперечными и продольными перегородками и плитами перекрытий. По результатам анализа данных визуального обследования и полученным схемам дефектов было установлено, что основные повреждения произошли в 5-м и 6-м подъездах. Наибольшие повреждения получили плиты перекрытий (рис. 13–14).



Рисунок 13 - Фасад здания после взрыва
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.20>



Рисунок 14 - Плита перекрытия в подвале 6 после взрыва
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.21>

В районе эпицентра динамического воздействия в 6-м подвале поврежденные несущие конструкции со 2-го по 6-й этажи были признаны аварийными.

Для оценки интегральной жесткости и технического состояния всего здания были выполнены динамические испытания его блоков. Результаты динамических испытаний поврежденного здания приведены в табл. 9. Результаты расчетов нормативных частот собственных колебаний приведены в табл. 8.

Дефицит интегральной жесткости поврежденного здания определялся по следующей формуле (2):

$$\Delta f_i = \left([f_I]^2 - f_i^2 \right) \times \frac{100}{[f_i^2]} \quad (2)$$

где f_i — экспериментально полученные значения частот собственных колебаний здания по осям i (x, y, z);

$[f_i]$ — нормативные значения частот собственных колебаний здания (сооружения) по осям i (x, y, z), получаемые из проекта или расчетным путем;

Δf_i — дефицит жесткости в % по осям i (x, y, z).

Нормативные значения частот собственных колебаний здания определялись с учетом его пространственных размеров и конструктивной схемы (табл.8).

По результатам динамических испытаний (табл.9) поврежденного здания дефицит жесткости здания в подвалах 5 и 6 по оси X составил 73,25 % (табл.10), что соответствует категории технического состояния «аварийное».

Таблица 8 - Нормативные значения частот собственных колебаний здания

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.22>

Зона обследования	$[F_x]$	$[F_y]$	$[F_z]$
1 (подъезды 5 и 6)	2,9	1,41	1,773
2 (подъезды 7 и 8)	2,65	1,41	1,773

Таблица 9 - Результаты динамико-геофизических испытаний поврежденного здания

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.23>

Подъезды здания	F_x, Hz	F_y, Hz	F_z, Hz	Декременты затухания по осям		
				D_x	D_y	D_z
5	2,6	2,15	1,95	0,41	0,41	0,41
6	1,5	1,3	1,3	0,287	0,22	0,22
7	2,5	2,45	1,6	0,51	1,39	0,22

Таблица 10 - Результаты вычислений дефицита жесткости и категории состояния поврежденного здания

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.24>

Зона обследования	$\Delta F_x, \%$	$\Delta F_y, \%$	$\Delta F_z, \%$	Дефицит жесткости. Категория состояния по ГОСТ 31937-2024
1 (подъезды 5 и 6)	73,25	15	46,24	Аварийное
2 (подъезды 7 и 8)	11	10	18,6	Работоспособное

После восстановления поврежденного здания были выполнены его повторные динамические испытания. Для динамических испытаний применялся мобильный диагностический комплекс для динамико-геофизических испытаний. Восстановленное здание и его конструкции показаны на рис.15-16.



Рисунок 15 - Фасад здания, восстановленный после аварии
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.25>



Рисунок 16 - Плита перекрытия, восстановленная после аварии
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.26>

Таким образом, ремонтные работы по восстановлению поврежденных несущих конструкций привели к изменению технического состояния здания до категории «работоспособного» (табл.11).

Таблица 11 - Результаты расчета дефицита жесткости и технического состояния сооружения

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.82.27>

Данные по состоянию на 18-20 марта 2022 года				
Место установки датчиков (блок)	$\Delta F_x, \%$	$\Delta F_y, \%$	$\Delta F_z, \%$	Дефицит жесткости. Категория состояния по ГОСТ 31937-2024 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния»

Данные по состоянию на 18-20 марта 2022 года				
1	73,25	15	46,24	Аварийное
2	11	10	18,6	Работоспособное
Данные 26 - 28 июля 2023 года				
1	37	10	10	Работоспособное
2	10	10	10	Работоспособное

Результаты динамико-геофизических испытаний аварийного здания и здания после его восстановления показали, что работы по усилению поврежденной части здания привели к увеличению интегральной жесткости по осям X, Y и Z. Поврежденная часть здания с «аварийного» технического состояния перешла в «работоспособное» техническое состояние.

Заключение

Таким образом, применение метода динамико-геофизических испытаний даёт возможность быстро оценить техническое состояние и эксплуатационную пригодность восстановленного после повреждения здания.

Для сокращения времени оценки поврежденных здания, например, в зоне повреждений от землетрясения, рекомендуется:

- разбить зону повреждений на отдельные площади, преимущественно с однотипной застройкой;
- на каждую площадь определить требуемое количество динамико-геофизических испытателей, исходя из их возможности затратить на испытание одного двухподъездного здания до 30 минут;
- полученные данные можно отправлять в центр сбора и анализа данных.

Оперативно сейсмостойкость здания A с применением данных динамико-геофизических можно рассчитать через величину предельного перемещения через следующее соотношение [11], [14]:

$$A = \frac{4 \times \pi^2 \times \Delta d}{k_0 \times k_1 \times k_\varphi \times \beta(T) \times T^2} \quad (3)$$

где Δd — предельно допустимые величины перемещения здания, например для железобетонных равна (1/400) на высоту этажа;

k_0 — коэффициент, учитывающий особенность конструктивного решения и степень его ответственности;

k_1 — коэффициент, учитывающий допустимые повреждения;

k_φ — коэффициент, учитывающий диссипативные свойства сооружения;

$\beta(T)$ — коэффициент динамичности сооружения, при резонансе грунтов в основании здания и здания, в среднем, принимается равным 2;

T — период собственных колебаний здания.

Величины коэффициентов k_0 , k_1 , k_φ назначаются специалистом исходя из нормативных требований [5], [8], или принимаются равными 1.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко. — Москва: Ком Книга, 2007. — 440 с.
2. Снитко Н.К. Строительная механика / Н.К. Снитко. — Москва: Высшая школа, 1980. — 384 с.
3. Нигметов Г.М. Современные подходы к оценке опасности обрушения сооружений / Г.М. Нигметов, А.В. Рыбаков, А.М. Савинов [и др.] // Технологии гражданской безопасности. — 2018. — Т. 15. — № 2 (56). — С. 26–29.
4. Авгуцевич А.Х. Оценка категории технического состояния и сейсмостойкости сооружения методом динамико — геофизических испытаний / А.Х. Авгуцевич // Новый путь Российской экономики: импортозамещение, инновационность, экономическая безопасность: сборник статей Международной научно-практической конференции, Волгоград, 19 февраля 2024 года. — Уфа: Аэтерна, 2024. — С. 3–5. — EDN: IXHZLS.
5. Скачкова С.Д. Оценка технического состояния зданий и сооружений с помощью беспилотных летательных аппаратов / С.Д. Скачкова, В.А. Уваров // Теоретические и практические основы научного прогресса в современном обществе: Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Киров, 24 января 2026 года. — Стерлитамак: Агентство международных исследований, 2026. — С. 162–164. — EDN: OQJOEA.
6. Coccimiglio S. Combining satellite geophysical data with continuous on-site measurements for monitoring the dynamic parameters of civil structures / S. Coccimiglio, G. Coletta, E. Lenticchia [et al.] // Scientific Reports. — 2022
7. Sarjan A.F.N. Enhancing Infrastructure Development: The Role of Geophysical Methods in Civil Engineering Projects / A.F.N. Sarjan, I.H. Muchtaranda // Empiricism Journal. — 2024. — № 5 (2). — P. 311–320.



8. Grassi S. Geophysical surveys for the dynamic characterization of a cultural heritage building and its subsoil: The S. Michele Arcangelo Church (Acireale, eastern Sicily) / S. Grassi, S. Imposa, G. Patti [et al.] // *Journal of Cultural Heritage*. — 2019. — № 36. — С. 72–84.
9. Hussein A.H.Z. Geophysical investigation for engineering construction assessment in Karst area / A.H.Z. Hussein, H.A. Mohd, S.M.N. Nor [et al.] // *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. — 2023. — № 129.
10. Методические рекомендации по оценке и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений. — Москва: ВНИИ ГОЧС, 2022.
11. Нигметов Г.М. Оценка сейсмостойкости зданий динамико-геофизическим методом с учетом особенности взаимодействия сейсмической волны с системой «грунт-сооружение» / Г.М. Нигметов, В.А. Акатьев, А.М. Савинов [и др.] // *Строительная механика и расчет сооружений*. — 2018. — Вып. 1. — С. 24–30.
12. Nigmatov G. Dynamic-geophysical tests of the technical condition and earthquake-resistance of historical buildings / G. Nigmatov, A. Savinov, T. Nigmatov [et al.] // *AlfaBuild*. — 2022. — № 21. — Article № 2101. — DOI: 10.57728/ALF.21.1.
13. Акатьев В.А. Влияние степени армирования железобетонной балки на ее амплитудно-частотную характеристику / В.А. Акатьев, Г.М. Нигметов, Т.Г. Нигметов // *Современные наукоемкие технологии*. — 2015. — № 3. — С. 10–14.
14. Вероятностные оценки сейсмических нагрузок на сооружения. — Москва: Наука, 1987. — 120 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Timoshenko S.P. *Kolebaniya v inzhenernom dele* [Fluctuations in engineering] / S.P. Timoshenko. — Moscow: Kom Kniga, 2007. — 440 p. [in Russian]
2. Snitko N.K. *Stroitel'naya mekhanika* [Structural mechanics] / N.K. Snitko. — Moscow: Higher School, 1980. — 384 p. [in Russian]
3. Nigmatov G.M. *Sovremennye podkhodi k otsenke opasnosti obrusheniya sooruzhenii* [Modern approaches to assessing the risk of collapse of structures] / G.M. Nigmatov, A.V. Ribakov, A.M. Savinov [et al.] // *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti* [Civil security technologies]. — 2018. — Vol. 15. — № 2 (56). — P. 26–29. [in Russian]
4. Avgutsevichs A.H. *Otsenka kategorii tekhnicheskogo sostoyaniya i seismostoikosti sooruzheniya metodom dinamiko-geofizicheskikh ispitaniy* [Assessment of the technical condition category and seismic resistance of a structure using dynamic-geophysical testing] / A.H. Avgutsevichs // *Novii put Rossijskoj ekonomiki: importozameshchenie, innovatsionnost, ekonomicheskaya bezopasnost* [A New Path for the Russian Economy: Import Substitution, Innovation, and Economic Security]: A Collection of Articles from the International Scientific and Practical Conference. — Ufa: Aeterna, 2024. — P. 3–5. — EDN: IXHZLS. [in Russian]
5. Skachkova S.D. *Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya zdaniy i sooruzheniy s pomoshchyu bespilotnykh letatelnykh apparatov* [Assessing the technical condition of buildings and structures using unmanned aerial vehicles] / S.D. Skachkova, V.A. Uvarov // *Teoreticheskie i prakticheskie osnovi nauchnogo progressa v sovremennom obshchestve* [Theoretical and Practical Foundations of Scientific Progress in Modern Society]: A Collection of Articles from the International Scientific and Practical Conference. — Sterlitamak: Agency for International Studies, 2026. — P. 162–164. — EDN: OQJOEA. [in Russian]
6. Coccimiglio S. *Combining satellite geophysical data with continuous on-site measurements for monitoring the dynamic parameters of civil structures* / S. Coccimiglio, G. Coletta, E. Lenticchia [et al.] // *Scientific Reports*. — 2022
7. Sarjan A.F.N. *Enhancing Infrastructure Development: The Role of Geophysical Methods in Civil Engineering Projects* / A.F.N. Sarjan, I.H. Muchtaranda // *Empiricism Journal*. — 2024. — № 5 (2). — P. 311–320.
8. Grassi S. Geophysical surveys for the dynamic characterization of a cultural heritage building and its subsoil: The S. Michele Arcangelo Church (Acireale, eastern Sicily) / S. Grassi, S. Imposa, G. Patti [et al.] // *Journal of Cultural Heritage*. — 2019. — № 36. — С. 72–84.
9. Hussein A.H.Z. Geophysical investigation for engineering construction assessment in Karst area / A.H.Z. Hussein, H.A. Mohd, S.M.N. Nor [et al.] // *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. — 2023. — № 129.
10. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke i sertifikatsii inzhenernoi bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy* [Guidelines for the assessment and certification of engineering safety of buildings and structures]. — Moscow: VNII GOChS, 2022. [in Russian]
11. Nigmatov G.M. *Otsenka seismostoikosti zdaniy dinamiko-geofizicheskim metodom s uchedom osobennosti vzaimodeystviya seismicheskoi volni s sistemoi «grunt-sooruzhenie»* [Assessment of seismic resistance of buildings using the dynamic-geophysical method, taking into account the interaction of seismic waves with the soil-structure system] / G.M. Nigmatov, V.A. Akatev, A.M. Savinov [et al.] // *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Structural mechanics and structural analysis]. — 2018. — Iss. 1. — P. 24–30. [in Russian]
12. Nigmatov G. *Dynamic-geophysical tests of the technical condition and earthquake-resistance of historical buildings* / G. Nigmatov, A. Savinov, T. Nigmatov [et al.] // *AlfaBuild*. — 2022. — № 21. — Article № 2101. — DOI: 10.57728/ALF.21.1.
13. Akatev V.A. *Vliyanie stepeni armirovaniya zhelezobetonnoi balki na yee amplitudno-chastotnyuyu kharakteristiku* [The influence of the degree of reinforcement of a reinforced concrete beam on its amplitude-frequency characteristic] / V.A. Akatev, G.M. Nigmatov, T.G. Nigmatov // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern science-intensive technologies]. — 2015. — № 3. — P. 10–14. [in Russian]
14. *Veroyatnostnie otsenki seismicheskikh nagruzok na sooruzheniya* [Probabilistic assessments of seismic loads on structures]. — Moscow: Nauka, 1987. — 120 p. [in Russian]