

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«РОССИЙСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ»**

Кафедра информационных технологий

Выпускная квалификационная работа
**Исследование влияния вибро-акустических воздействий на
функционирование информационных систем**

Студент 2 курса
очно-заочной формы обучения
по направлению 09.04.02
«Информационные системы и
технологии»
Реберко Алексей Иванович

(подпись)

Научный руководитель:
к.ф. -м.н., доцент кафедры ИТ
Трухманов В.Б.

(подпись)

Допущен к защите
протокол № __ от «__» ____ 2025г.
Зав. кафедрой, д.т.н.,
Сиротюк В.О.

(подпись)

Москва – 2025 год

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	8
1.1. Понятие и структура информационной системы.....	8
1.2. Вибро-акустические воздействия и их классификация	9
ГЛАВА 2. Аналитический обзор	17
2.1. Классификация методов мониторинга.....	17
2.2. Приборы и инструментальные комплексы.....	20
2.3. Анализаторы и диагностические комплексы	21
2.3. Критерии выбора инструментального оснащения	23
ГЛАВА 3. Экспериментальная часть	41
3.1. Экспериментальная установка.....	41
3.2. Методика проведения испытаний вибро-акустического воздействия на ИС	44
3.3. Основные аспекты оценки влияния вибро-акустических нагрузок.....	45
ГЛАВА 4. Разработка и апробация методов защиты	47
4.1. Технические решения для защиты от вибро-акустических воздействий .	47
4.2. Инженерные решения и методы реализации	54
4.3. Методология апробации систем защиты	60
4.4. Документирование результатов.....	61
Анализ результатов исследований, формулирование выводов и рекомендаций	62
Анализ полученных данных в исследовании	62
Список используемой литературы	63
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	70

ВВЕДЕНИЕ

Современное общество невозможно представить без использования информационных систем (ИС), играющих ключевую роль в управлении, хранении и обработке данных в промышленности, науке, государственном управлении и повседневной жизни. Надежность и устойчивое функционирование ИС обеспечивают безопасность критически важных процессов и напрямую влияют на эффективность деятельности предприятий и организаций.

В последние годы отмечается тенденция возрастания числа и разнообразия деструктивных воздействий, способных нарушить устойчивость работы информационных систем. Особое значение среди этих факторов имеют вибро-акустические воздействия, оказывающие влияние как на аппаратные компоненты (жесткие диски, серверы, коммуникационное оборудование), программные комплексы, так и на сотрудников, которые без спора являются неотъемлемой частью ИС. В условиях повышения плотности размещения оборудования, интенсификации производственных процессов, распространения техники в транспортной и военной сферах возрастает вероятность появления вредных вибрационных и акустических колебаний. Их последствия — от угрожающих повреждений и ускоренного износа оборудования до утрат данных и критических сбоев.

Актуальность выбранной темы определяется необходимостью обеспечения устойчивости и надежности ИС в условиях агрессивных вибро-акустических сред, где стандартные меры защиты оказываются недостаточными. Научный и практический интерес вызывает разработка математических моделей оценки влияния вибраций и шума, методов диагностики, а также новых средств и способов защиты.

Цель научно-исследовательской работы

- Комплексное изучение влияния вибро-акустических воздействий на функционирование информационных систем

- Анализ современных методов их мониторинга и диагностики, разработка и апробация моделей устойчивости
- Исследование технологий повышения защищенности ИС от подобных воздействий

Задачи исследования

- Провести обзор современных типов деструктивных вибро-акустических воздействий на информационные системы.
- Изучить специфику воздействия вибро-акустических на аппаратные и программные компоненты ИС.
- Сформировать математическую модель оценки устойчивости и надежности ИС при деструктивных воздействиях.
- Провести экспериментальные исследования влияния вибро-акустических воздействий на элементы информационной системы.
- Разработать рекомендации по организации мониторинга и диагностике деструктивных воздействий.
- Оценить эффективность существующих и новых защитных технологий и средств.
- Проанализировать результаты и сформулировать выводы относительно направления развития мер защиты и повышения устойчивости ИС к деструктивным факторам.

Обзор состояния проблемы в отечественной и мировой практике

Обзор состояния проблемы в отечественной и мировой практике по оценке влияния деструктивных воздействий на функционирование информационных систем показывает, что проблема устойчивости ИС к внешним и внутренним угрозам актуальна как для российских, так и для зарубежных специалистов.

Одним из ключевых вызовов в современной цифровой экономике становится рост числа и сложности деструктивных воздействий — кибератак, физических повреждений, целенаправленных технических или

организационных сбоях, а также несанкционированных деструктивных вмешательств в инфраструктуру. Современные исследования подчеркивают, что уязвимость большинства организаций связана не только с развитием инструментов атаки, но и с недостаточностью системного подхода к обеспечению устойчивости: отсутствие регулярных тестирований, нехватка квалифицированных кадров, а также слабая автоматизация процедур обнаружения и противодействия новым видам комбинированных угроз.

В мировой практике значительное внимание уделяется устойчивости критической информационной инфраструктуры (КИИ), где на первый план выходят вопросы моделирования динамики устойчивости функционирования систем, а также формализации задач количественной оценки данного показателя в условиях факторов риска, реализуемых в виде угроз информационной безопасности, технических отказов и физических воздействий. Научно-техническая и нормативная база постоянно развивается — примерами служат пересмотры ГОСТов, международных стандартов и национальных актов, регламентирующих как технические, так и организационные меры защиты систем.

В области технологий и средств защиты наблюдается как развитие традиционных методов усиления резервирования и мониторинга, так и внедрение интеллектуальных средств автоматизации анализа, основанных на методах искусственного интеллекта и машинного обучения, способных обнаруживать даже сложные неочевидные аномалии в работе ИС и инфраструктуры. Использование квантовых вычислений и реализация новых типов атак, включая инциденты на основе искусственного интеллекта, подчеркивают необходимость непрерывного совершенствования методик оценки устойчивости систем и стратегий реагирования на деструктивные воздействия.

Таким образом, для обеспечения устойчивости ИС на практике требуется интеграция организационных и технических мер, обновление

стандартов и развитие методов анализа, позволяющих своевременно выявлять и минимизировать последствия деструктивных воздействий, а также поддерживать функционирование ключевых сервисов даже в условиях многоаспектных и целенаправленных атак.

В мировой практике

- Ведущие страны (США, ЕС, Япония) уделяют особое внимание стандартам безопасности оборудования — например, ISO 7779:2016(7779:2018 – актуальный) и ISO 10326-1:2016, определяющим методы измерения шумовых и вибрационных характеристик техники в информационных системах и требования к их защите.[61][62]

- Деструктивные воздействия рассматриваются не только как прямое физическое разрушение, но и как сложные сценарии, включающие кибератаки, информационное и психозмоциональное воздействие, а также промышленные вибрации и шум.[63][64]

- Международная практика характеризуется разработкой комплексных методик мониторинга (например, внедрение систем вибро-акустического контроля в дата-центрах и производствах), а также интеграцией организационных, программных и аппаратных средств защиты.

В российской практике

- В России проблема устойчивости к деструктивным воздействиям ИС фиксируется в ГОСТах: ГОСТ Р 12.4.213-99, ГОСТ 31191.1-2004, ГОСТ 53032-2008 (ИСО 7779:1999).[64][65][61]

- Основное внимание уделяется вопросам вибрационной безопасности, мониторингу технических средств и разработке неразрушающих методов контроля (в том числе вибро-акустической диагностики).[66][67][68]

- Значимые научные публикации в российских журналах посвящены вопросам дифференциации источников угроз, моделированию рисков, внедрению интеллектуальных систем диагностики и анализу спектра

влияния деструктивных факторов на ИС.[67][69][66]

Основные проблемы

- Недостаточная интеграция отечественных систем мониторинга с международными практиками и стандартами.
- Неравномерность внедрения современных средств автоматической диагностики в различных отраслях: наиболее защищены критические инфраструктуры и промышленные объекты, а корпоративный сектор зачастую использует устаревшие подходы.
- Рост числа новых угроз — в том числе комбинированных (например, совмещение физического разрушения с кибератакой), что требует пересмотра подходов к моделированию воздействия.[63][64]
- Отсутствие единой базы для анализа и обмена практическим опытом между странами.

В заключение, вопрос оценки влияния деструктивных воздействий на функционирование информационных систем актуален во всем мире, практикуется развитие стандартов, внедрение методов мониторинга и совершенствование алгоритмов диагностики, но существуют трудности как в технологической, так и в организационной сферах, связанные с интеграцией опыта и своевременным реагированием на новые типы угроз.[65][64][66][61][63]

ГЛАВА 1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1.1. Понятие и структура информационной системы

Понятие и структура информационной системы (ИС) отражают сложную организацию современных процессов управления, хранения и обработки информации. ИС функционирует как целостная система, где каждый компонент играет самостоятельную, но взаимосвязанную роль в обеспечении эффективности работы.

Информационная система (ИС) — это совокупность аппаратных, программных, телекоммуникационных и организационных средств, обеспечивающих сбор, обработку, хранение и передачу информации. Она поддерживает бизнес-процессы, автоматизирует действия персонала и обеспечивает выполнение задач по управлению, анализу и защите данных.

Основные компоненты ИС:

Техническое обеспечение (серверы, рабочие станции, сети), включающее устройства сбора, хранения, передачи и вывода информации, коммуникационные каналы и инфраструктурные элементы.

Программное обеспечение (операционные системы, прикладные программы, базы данных), реализующее алгоритмы обработки данных, взаимодействие пользователей с аппаратными ресурсами и предоставление сервисов.

Информационные ресурсы (данные и знания), которые включают множество структурированных и неструктурированных данных, формализованные модели и хранилища информации, необходимые для работы пользователей и приложений.

Персонал, обеспечивающий функционирование и администрирование ИС, включая работу с оборудованием и программным обеспечением, организацию защиты и технической поддержки.

Организационно-нормативная среда (регламенты, политика безопасности, стандарты), формирующая совокупность правил, методик,

норм и процедур для эффективной и безопасной эксплуатации ИС.

Дополнительно в структуре ИС иногда выделяют такие обеспечивающие подсистемы, как:

Математическое обеспечение (методы, модели, алгоритмы для формализации обработки и управления данными).

Правовое обеспечение (документы, нормативные акты, регулирующие правила хранения, защиты и передачи информации).

Эффективность функционирования ИС определяется степенью интеграции этих компонентов, уровнем автоматизации процессов, возможностью масштабирования, уровнем защищенности и надежности — то есть способностью сохранять работоспособность и целостность данных в условиях внутренних и внешних воздействий, а также быстро реагировать на угрозы и сбои.

Современные ИС классифицируют по типу решаемых задач (например, транзакционные, аналитические, экспертные), архитектуре (на централизованные, распределенные, клиент-серверные), характеру представления (фактографические, документальные, геоинформационные) и по масштабу использования (корпоративные, ведомственные, отраслевые). Это обеспечивает их гибкость и приспособляемость к специфике различных сфер применения.

1.2. Вибро-акустические воздействия и их классификация

Вибро-акустические воздействия представляют собой специфический и многогранный класс физических деструктивных влияний, распространяющихся в информационных системах посредством вибрационных и акустических каналов передачи. Подобные воздействия представляют двойную угрозу: они способны одновременно вызвать компрометацию защищаемой информации через несанкционированное считывание данных и привести к отказам в работе оборудования, нарушению функциональности программного обеспечения и снижению

производительности систем.[1][2][3]

Классификация вибро-акустических воздействий

Основные типы вибро-акустических угроз для информационных систем:[4][2][5]

По характеру угроз и типам воздействия

- **Пассивные вибро-акустические угрозы** — связаны с несанкционированным доступом к информации без прямого вмешательства и без видимого нарушения работоспособности системы. Включают перехват речевых сигналов через вибрационно-акустические каналы, считывание информации с вибрирующих компонентов (дисков, печатей), восстановление данных из побочных электромагнитных излучений (ПЭМИ), возбуждаемых вибрациями.
- **Активные вибро-акустические угрозы** — направлены на преднамеренное нарушение функционирования, искажение или разрушение компонентов ИС. Включают резонансное воздействие на элементы конструкций, вызывающее их деформацию или разрушение; создание интенсивных шумовых и вибрационных помех для подавления информационных сигналов; индуцирование ошибок в электронных схемах через вибрационно-магнитные и электромеханические эффекты.

По характеру угроз и типам воздействия

- **Пассивные вибро-акустические угрозы** — связаны с несанкционированным доступом к информации без прямого вмешательства и без видимого нарушения работоспособности системы. Включают перехват речевых сигналов через вибрационно-акустические каналы, считывание информации с вибрирующих компонентов (дисков, печатей), восстановление данных из побочных электромагнитных излучений (ПЭМИ), возбуждаемых вибрациями.
- **Активные вибро-акустические угрозы** — направлены на преднамеренное нарушение функционирования, искажение или разрушение

компонентов ИС. Включают резонансное воздействие на элементы конструкций, вызывающее их деформацию или разрушение; создание интенсивных шумовых и вибрационных помех для подавления информационных сигналов; индуцирование ошибок в электронных схемах через вибрационно-магнитные и электромеханические эффекты.[6][7]

По источнику возникновения

- **Внутренние источники** — исходят непосредственно от компонентов самой информационной системы: работа электромеханических элементов (вентиляторы охлаждения, жесткие диски, приводы), осциллирующие потребители энергии, системы охлаждения и кондиционирования, акустические излучатели (динамики, сирены). Такие источники создают фоновый вибрационно-акустический фон, от которого зависит защищенность системы.
- **Внешние источники** — инициируются извне злоумышленниками или природными/промышленными факторами. Включают целенаправленные атаки через излучение звука и вибраций специальными генераторами; естественные вибрации (проезд транспорта, работа соседних производств); вибрационно-акустические колебания, передаваемые через строительные конструкции, инженерные сети и коммуникации. [2][8]

По масштабу

По масштабу и характеру распространения воздействия

- **Локальные воздействия** — ограничены в пространстве и затрагивают отдельные компоненты, устройства или ограниченные сегменты системы (например, воздействие только на один серверный шкаф, конкретный блок питания или сетевое оборудование). Такие воздействия могут быть менее заметны при глобальном мониторинге, но могут привести к критическим отказам ключевых компонентов.
- **Распределённые общие воздействия** — охватывают значительные части ИС, включая несколько помещений, здания или производственные

площадки. Могут передаваться через общие строительные конструкции, воздуховоды, системы электроснабжения и коммуникаций. Примерами служат низкочастотные вибрационные волны от крупных производств, сейсмическая активность, интенсивное акустическое излучение в условиях высокошумной среды.[7]

Теоретические основы воздействия

- Вибро-акустический канал утечки информации и воздействия на ИС представляет собой сложную трёхкомпонентную систему, состоящую из источника сигнала, среды распространения и приёмного устройства, каждый из которых играет критическую роль в реализации угрозы.

Структура вибро-акустического канала

Источник сигнала (объект сигнала) — первичный генератор информационного сигнала, который инициирует возникновение вибрационно-акустических колебаний. В контексте информационных систем это может быть:

Голосовой аппарат человека (генерирующий речевую информацию в диапазоне частот 70–7000 Гц с концентрацией энергии в области 1000–2000 Гц).

Электромеханические компоненты оборудования (вентиляторы, жесткие диски, приводы), вырабатывающие вибрационные сигналы как побочный продукт работы.

Электронные схемы и кабельные системы, в которых под действием акустических полей возникают параметрические модуляции высокочастотных сигналов.

Среда распространения — физическое окружение, через которое передается вибрационно-акустический сигнал. Различают несколько типов:

Воздушная среда — используется в прямых акустических каналах, обеспечивает относительно быстрое затухание сигнала на расстоянии.

Твёрдые конструкции зданий и сооружений (стены, потолки, полы, окна, двери) — характеризуются низким затуханием вибрационных сигналов, что позволяет им распространяться на значительные расстояния без значительной потери информативности. Разборчивость речи при таком распространении может достигать около 80%.

Инженерные коммуникации (трубопроводы водоснабжения, отопления, вентиляции, кабельные каналы, воздуховоды) — выступают в качестве волноводов, обеспечивая особо эффективное распространение вибрационных колебаний. В частности, при поперечных размерах короба, сравнимых с длиной звуковой волны, затухание составляет всего 0,01–1 дБ/м, что позволяет сигналам распространяться на сотни метров практически без потери информативности.

Конструктивные и электрические элементы самих ИС (печатные платы, разъёмы, силовые кабели) — служат дополнительными каналами распространения и преобразования вибрационных воздействий в электрические сигналы.

Приёмное устройство (датчик съёма информации) — техническое средство, преобразующее вибрационно-акустические колебания в электрические или иные обрабатываемые сигналы. Основные типы приёмников:

Контактные микрофоны (электронные стетоскопы) — преобразуют механические вибрации твёрдых тел в электрические сигналы, последующее усиление и обработка которых восстанавливают исходную информацию.

Вибродатчики и акселерометры — измеряют ускорение механических колебаний и преобразуют их в электрические сигналы для анализа.

Лазерные виброметры (лазерные микрофоны) — осуществляют бесконтактный перехват информации путём облучения вибрирующих поверхностей (оконных стёкол, зеркал, картин) лазерным лучом и анализа отражённого излучения, модулированного вибрациями.

Специализированные системы обнаружения и усиления сигналов — включают фильтры, усилители, демодуляторы, предназначенные для выделения полезного сигнала из шумовой компоненты.

Особенности вибро-акустического канала в контексте ИС

Вибро-акустический канал имеет ряд критических особенностей, повышающих его опасность для информационных систем:

"Беззаходовый" характер — устройства перехвата или воздействия могут быть установлены вне охраняемых помещений, затрудняя их обнаружение и повышая скрытность атаки.

Естественное распространение — вибрационные сигналы распространяются по конструкциям зданий естественным путём, требуя минимальных активных действий нарушителя.

Двойственность воздействия — одновременно обеспечивает как пассивный доступ к информации (утечку конфиденциальных данных), так и активное воздействие на компоненты ИС (вызывание отказов, искажение сигналов, вибрационное усталостное разрушение).

Синергетический эффект — комбинация вибраций от различных источников может создавать резонансные явления, усиливающие общее воздействие на оборудование ИС.

Таким образом, понимание структуры и механизмов функционирования вибро-акустического канала является необходимым условием для разработки эффективных систем защиты информационных систем и оценки их устойчивости к комплексным физическим воздействиям.
[3][1]

- Информационная угроза реализуется либо путем утечки информации, либо путем внесения деструктивных изменений в работу оборудования и ПО.[9][6]

- Передача информации возможна по вибро-акустическим каналам при наличии отражающих/вибрирующих поверхностей и устройств,

обладающих "микрофонным эффектом" (например, телефонные линии, радиоканалы, электромеханические устройства).[2]

- Теория вибро-акустических воздействий включает анализ уровней сигналов, параметров среды (упругость, коэффициенты затухания), спектральных характеристик и возможности резонансного воздействия.[10][11]

Практические модели и методы

- Математические методы оценки устойчивости включает вероятностные и спектральные подходы анализа вибро-акустических сигналов для диагностики состояния систем и выявления уязвимых мест, а также критерии оценки риска по нормам профессиональной гигиены и безопасности оборудования.[12][13][10]

- Используются инструментальные средства: контактные микрофоны, лазерные виброметры, спектроанализаторы.[14][2]

Современное состояние исследований

- Актуальные работы включают моделирование способов воздействия и каналов утечки, а также экспериментальную оценку вероятностных характеристик обнаружения и противодействия вибро-акустическим атакам.[15][16][13]

- Основные направления исследований — повышение точности мониторинга, разработка комплексных методов защиты инфраструктуры от вибро-акустических и электроакустических угроз.[5][7]

Заключение

Теоретическая основа оценки влияния деструктивных воздействий на функционирование информационных систем формирует научную базу для разработки методов повышения их устойчивости и безопасности. Она опирается на системный анализ, теорию надежности, информационную безопасность и риск-ориентированный подход к управлению функционированием ИС. Таким образом, понимание структуры и механизмов

функционирования вибро-акустического канала является необходимым условием для разработки эффективных систем защиты информационных систем и оценки их устойчивости к комплексным физическим воздействиям.

ГЛАВА 2. Аналитический обзор

2.1. Классификация методов мониторинга

Классификация методов мониторинга вибраций и акустических параметров информационных систем представляет собой систематизацию подходов и инструментов, применяемых для регистрации и анализа физических воздействий, которые могут как нарушать функционирование ИС, так и служить каналом утечки информации.

Контактные методы мониторинга

Контактные методы основаны на прямом механическом контакте измерительного датчика с объектом исследования и обеспечивают получение достоверной информации о параметрах вибрации на конструктивных элементах системы.

Акселерометры и вибродатчики пьезоэлектрического типа — преобразуют механические ускорения и вибрационные колебания в пропорциональные электрические сигналы. Отличаются высокой чувствительностью, стабильностью и линейностью в широком диапазоне частот (от единиц Герц до нескольких килогерц). Широко применяются в промышленной диагностике оборудования, мониторинге структурной целостности, оценке виброустойчивости электронных компонентов.

Контактные микрофоны (электронные стетоскопы) — используются для прямого считывания вибрационно-акустических сигналов с поверхностей оборудования и конструкций. Характеризуются высокой степенью детальности и пригодны для локального анализа.

Тензодатчики и датчики давления — применяются для измерения механических напряжений и деформаций, возникающих под воздействием вибрационных нагрузок. Позволяют оценить уровень механических повреждений в критических узлах и соединениях.

Преимущества контактных методов:

Высокая точность и разрешающая способность по амплитуде и частоте.

Прямое измерение параметров вибрации без предварительных преобразований и калибровки.

Возможность организации долгосрочного непрерывного мониторинга благодаря устойчивости к внешним факторам.

Сравнительно низкая стоимость оборудования.

Ограничения контактных методов:

Требуют физического доступа к объекту измерения, что не всегда возможно в зданиях и конструкциях.

Могут вносить незначительные изменения в механические характеристики системы за счёт добавленной массы датчика.

Потребность в регулярной проверке и калибровке датчиков.
[23][24][25]

Бесконтактные методы мониторинга

Бесконтактные методы обеспечивают регистрацию вибрационных и акустических параметров без прямого контакта с объектом, что делает их особенно ценными для мониторинга труднодоступных, чувствительных или подвижных компонентов.

Оптические и голографические методы

Лазерные виброметры (лазерные микрофоны) — осуществляют бесконтактное измерение колебаний путём облучения объекта лазерным лучом и анализа частоты Доплера отражённого излучения. Позволяют измерять микроколебания (до фракций микронов) на расстояниях до нескольких метров. Обладают исключительной чувствительностью и пригодны для анализа высокочастотных компонентов вибрации.

Оптические методы видеоанализа — используют видеозаписи и компьютерную обработку изображений для регистрации и анализа микроколебаний объектов. Позволяет одновременно мониторить множество точек на поверхности объекта.

Инфракрасные датчики — могут регистрировать тепловые сигнатуры, связанные с фрикционными потерями и диссипацией энергии при вибрационных воздействиях.

Акустические датчики и микрофоны конденсаторного типа — предназначены для регистрации акустических волн в воздухе на расстоянии от источника. Могут быть чувствительны к различным частотным диапазонам.

Преимущества бесконтактных методов:

Не требуют физического контакта с объектом, исключая возможность механического повреждения.

Позволяют мониторить быстро движущиеся или вращающиеся элементы.

Отсутствие добавленной массы позволяет избежать влияния на исходные колебания.

Возможность организации удалённого мониторинга и скрытого контроля параметров.

Ограничения бесконтактных методов:

Высокая стоимость оборудования, особенно лазерных систем.

Чувствительность к условиям окружающей среды (освещённость, загрязнение, помехи).

Требуют специалистов высокой квалификации для эксплуатации и интерпретации результатов.

Комбинированные подходы

На практике современные системы мониторинга используют комбинацию контактных и бесконтактных методов, позволяя достичь оптимального баланса между точностью, полнотой информации и практической применимостью. Многоканальные системы с интеграцией данных различных типов датчиков обеспечивают всесторонний анализ вибро-акустических параметров ИС и окружающей среды.

Выбор конкретного метода или сочетания методов зависит от целей исследования, характеристик объекта, доступности ресурсов и требуемой точности измерений для обеспечения надежности и защищенности информационной системы.[26][24][27]

2.2.Приборы и инструментальные комплексы

Приборы и инструментальные комплексы, предназначенные для мониторинга и регистрации вибраций и акустических воздействий, составляют технологическую основу систем контроля функционирования информационных систем. Эти устройства варьируют по сложности, точности, функциональности и областям применения, от простых портативных приборов до полнофункциональных интегрированных систем реального времени.

Базовые виброизмерительные приборы

Виброметры — портативные или стационарные устройства, предназначенные для быстрого измерения основных параметров вибрации (амплитуда, частота, общий уровень) на отдельных точках объекта. [21][23]

Обеспечивают прямое считывание параметров вибрации в реальном времени на встроенном дисплее.

Применяются для рутинного мониторинга оборудования, определения состояния машин, выявления первых признаков развивающихся неисправностей.

Относительно портативны и удобны для проведения мобильных обследований различных объектов ИС.

Примеры: простые виброметры типа ВМ-1, ВМ-2 для промышленного контроля; специализированные приборы для акустических измерений.

Датчики и преобразователи

Вибродатчики и акселерометры — стационарные компоненты, постоянно размещаемые на контрольных точках оборудования и конструкций для длительного непрерывного мониторинга. [24][25][21]

Преобразуют механические колебания в электрические сигналы, передаваемые через кабели или беспроводные каналы в централизованные системы сбора данных.

Обеспечивают многоканальную регистрацию параметров вибрации с высокой частотой дискретизации (обычно от 1 кГц до 100 кГц и выше).

Позволяют организовать долгосрочный мониторинг с архивированием исторических данных и выявлением долгосрочных тенденций деградации.

Современные датчики оснащены встроенными усилителями, фильтрами и некоторыми включают предварительную обработку сигналов.

2.3.Анализаторы и диагностические комплексы

Анализаторы вибраций — специализированные приборы для углубленного анализа вибро-акустических сигналов в частотной, временной и время-частотной области. [23]

Реализуют спектральный анализ Фурье для выявления доминирующих частотных компонентов и гармонических составляющих сигнала.

Осуществляют вейвлет-анализ и другие адаптивные методы для локализации переходных и нестационарных явлений.

Позволяют выявлять ранние признаки развивающихся дефектов, скрытых в общем спектре вибрации (например, "импульсные" компоненты от начинающих отказывать подшипников).

Используются для глубокой диагностики состояния сложного оборудования и выработки рекомендаций по техническому обслуживанию.

Примеры: анализаторы типа Брюль и Кьер (Brüel & Kjær), Onda Acoustics, отечественные системы "Балтик-5" и аналоги.

Интегрированные системы мониторинга реального времени

Системы вибро-акустического мониторинга (например, VIBGUARD IoT, Omnicron Electronics, аналоги) представляют собой комплексные аппаратно-программные платформы для централизованного мониторинга и управления. [22][21]

Объединяют множество датчиков (от десятков до сотен каналов) в единую сеть, обеспечивая синхронный сбор данных со всех точек контроля.

Реализуют многоуровневую обработку сигналов с применением быстрых вычислительных алгоритмов (FFT, вейвлет-преобразование, статистический анализ).

Обеспечивают мониторинг в режиме реального времени с возможностью автоматического оповещения при превышении установленных пороговых значений.

Включают веб-интерфейсы и мобильные приложения для удалённого доступа к информации.

Позволяют интеграцию с автоматизированными системами управления (SCADA, MES) и корпоративными информационными системами.

Поддерживают облачное хранилище и долгосрочное архивирование данных для анализа исторических тенденций и прогнозирования отказов.

Лазерные виброметры и оптические системы анализа применяются в научных исследованиях и при необходимости высокоточного контроля на сложных объектах, где традиционные контактные датчики неприменимы или нежелательны. [26][24]

Лазерные виброметры регистрируют микроколебания поверхностей с разрешением до долей микрона посредством анализа эффекта Доплера отражённого лазерного луча. Обеспечивают чувствительность, недостижимую для контактных датчиков.

Голографические методы позволяют визуализировать поля колебаний по поверхности объекта, выявляя моды вибрирования и зоны концентрации напряжений.

Видеоанализ и оптическая корреляция применяются для бесконтактного анализа деформаций и перемещений на основе обработки видеозаписей высокого разрешения.

Используются в специализированных лабораториях для калибровки

инструментов, верификации математических моделей и фундаментальных научных исследований.

Портативные и встроенные системы

Портативные комплексы объединяют датчик(и), процессор и дисплей в одном устройстве, обеспечивая мобильность при проведении обследований. Примеры: ручные виброанализаторы, портативные спектроанализаторы с батареями питания.

Встроенные системы реализуются в виде специализированных модулей, интегрированных непосредственно в конструкцию оборудования или помещений ИС, обеспечивая непрерывный и скрытый мониторинг.

2.3. Критерии выбора инструментального оснащения

Выбор конкретных приборов и комплексов зависит от:

Целей исследования: рутинный контроль, глубокая диагностика, научные исследования.

Объекта исследования: размер, расположение, доступность, чувствительность к контакту.

Требуемой точности и полноты информации: простые параметры вибрации или полный спектральный анализ.

Временных параметров: однократные измерения или долгосрочный мониторинг.

Масштаба системы: локальный контроль отдельных компонентов или охват всей ИС.

Бюджетных ограничений и доступности специалистов для интерпретации данных.

Современная тенденция заключается в комбинации различных методов и инструментов, позволяющей достичь баланса между охватом, точностью, стоимостью и практической применимостью систем мониторинга вибро-акустических параметров информационных систем.

Анализ и обработка данных

- Системы могут осуществлять не только мониторинг, но и автоматическую классификацию событий, отделяя естественные вибрации от потенциально опасных или искусственных воздействий.[29][28]

Анализ и обработка данных вибро-акустических сигналов представляют собой критическую и многоуровневую операцию, обеспечивающую извлечение полезной информации из сырых измерений и преобразование её в представления, пригодные для принятия управленческих решений по защите и обслуживанию информационных систем.

Методы спектрального и амплитудного анализа

Амплитудный анализ обеспечивает первичную оценку интенсивности вибро-акустических воздействий и их динамики во времени. [28][23]

Регистрация и анализ общего уровня вибрации (виброускорения, виброскорости, виброперемещения) в соответствии с классификацией стандартов ISO 10816, ГОСТ 15895 и аналогичных нормативных документов.

Выявление переходных процессов и импульсных событий, которые могут указывать на острые сбои, удары или быстрые изменения в состоянии оборудования.

Сравнение с установленными пороговыми значениями для определения допустимости параметров вибрации согласно техническим стандартам.

Оценка временных рядов амплитуд для выявления долгосрочных тенденций деградации состояния компонентов ИС.

Спектральный анализ (преобразование Фурье, FFT) раскладывает сложный вибро-акустический сигнал на его частотные компоненты, выявляя источники вибрации и их характеристики.

Создание спектрограмм (графиков зависимости амплитуды от частоты), позволяющих идентифицировать доминирующие частотные компоненты и гармонические составляющие.

Определение резонансных частот конструкций ИС, при которых воздействие оказывает особенно сильное влияние.

Выявление побочных полос модуляции, связанных с дефектами оборудования (например, характерные "импульсные" спектры при дефектах подшипников, электрических пробоях).

Анализ спектральной плотности мощности (PSD) для статистической оценки энергетического содержания сигнала в различных частотных полосах.

Вейвлет-анализ и время-частотная обработка преодолевают ограничения традиционного Фурье-анализа для нестационарных сигналов.

Разложение сигнала на локализованные во времени вейвлет-коэффициенты, позволяющие выявлять моменты возникновения переходных явлений.

Скейлограммы (вейвлет-спектрограммы) показывают эволюцию частотного содержания сигнала во времени, раскрывая динамику развития аномалий.

Применение позволяет обнаруживать слабые признаки развивающихся дефектов, которые могут быть скрыты в традиционных спектрах.

Автоматизированные системы обработки и мониторинга

Телеметрия и автоматический сбор данных обеспечивают организацию масштабируемых систем мониторинга с централизованной обработкой информации. [21]

Передача потоков данных от распределённых датчиков в центральный вычислительный узел по проводным (Ethernet, RS-485) или беспроводным (WiFi, LTE, спутниковым каналам) каналам.

Синхронизация временных меток всех измеренных данных для обеспечения согласованности анализа многоканальных сигналов.

Обработка данных в режиме реального времени или квазиреального времени (с минимальной задержкой), позволяющая оперативно реагировать на критические события.

Автоматизированные системы архивирования обеспечивают долгосрочное хранение и быстрый доступ к историческим данным.

Реализация многоуровневого хранилища: горячее хранилище (высокоскоростное, для активных операций), теплое хранилище (среднего уровня) и холодное хранилище (долгосрочное, низкочастотный доступ).

Сжатие данных с использованием безопасных алгоритмов для сокращения требуемого объёма памяти при сохранении полноты информации.

Индексирование и категоризация архивных данных по временным меткам, типам событий и приоритетам, облегчающие поиск и анализ исторических сведений.

Системы оповещения и алармирования реализуют многоуровневую стратегию уведомления о выявленных аномалиях.

Пороговое оповещение: срабатывание сигнала тревоги при превышении установленных граничных значений вибрации, шума или других параметров.

Условное оповещение: активация алертов при обнаружении сочетания условий (например, повышение температуры И превышение вибрации).

Прогностическое оповещение: предварительное предупреждение на основе выявленных трендов, указывающих на приближение критического состояния (например, экстраполяция развития дефекта).

Многоканальное уведомление: отправка сигналов тревоги через различные средства (SMS, электронная почта, push-уведомления, sirenas) с различными приоритетами.

Автоматическая классификация событий и интеллектуальный анализ

Системы классификации событий применяют алгоритмы обучения для разделения зарегистрированных событий на категории. [29][28]

Разделение естественных и искусственных воздействий: различение между обычными (фоновыми) вибрациями окружающей среды и потенциально опасными или целенаправленными атаками.

Естественные источники: проезд транспорта, ветер, сейсмическая активность, работа смежного оборудования.

Искусственные источники: целенаправленные вибро-акустические атаки, умышленное создание помех, сбои в работе защиты.

Идентификация типов дефектов: использование характерных спектральных и временных сигнатур для распознавания типов развивающихся отказов (например, различение дефектов подшипников, электрических пробоев, механических нарушений).

Использование машинного обучения (decision trees, random forests, SVM) и глубокого обучения (CNN, LSTM) для повышения точности классификации на основе исторических данных.

Системы аномалии-обнаружения выявляют отклонения от нормального поведения системы, даже если эти отклонения не соответствуют известным шаблонам дефектов.

Построение моделей нормального состояния на основе статистики и машинного обучения.

Алгоритмы: Isolation Forest, One-Class SVM, Autoencoders для обнаружения редких и неизвестных типов аномалий.

Особенно ценны для выявления новых типов атак или нежелательных воздействий, которые ещё не были зафиксированы в системе.

Прогностическое обслуживание (Predictive Maintenance) использует анализ вибро-акустических данных для прогнозирования времени отказа компонентов.

На основе исторических данных и текущего состояния система оценивает оставшийся срок службы (RUL — Remaining Useful Life) компонентов.

Позволяет плановое техническое обслуживание до того, как компонент выйдет из строя, минимизируя незапланированные простои.

Интеграция с системами управления запасами и планирования работ.

Визуализация результатов

Графическое представление данных облегчает восприятие аналитиками и принятие решений.

Динамические панели управления (dashboards) с графиками вибрации в реальном времени, историческими трендами, 3D-картами распределения вибраций по площади ИС.

Спектрограммы, тепловые карты, графики степени тяжести событий.

Системы визуализации с интерактивными элементами для фокусирования на критических областях и временных периодах.

Интеграция всех компонентов анализа и обработки данных в единую автоматизированную систему создаёт мощный инструмент для управления рисками и обеспечения устойчивости информационных систем к вибро-акустическим воздействиям, позволяя перейти от реактивного к проактивному подходу в обслуживании и защите.

Примеры реализации

Примеры реализации систем защиты и мониторинга вибро-акустических воздействий демонстрируют практическое применение разработанных методов и технологий в реальных информационных системах различных типов и масштабов.

Комбинированные системы защиты информации

Интегрированные комплексы вибро-акустической защиты объединяют несколько функциональных компонентов для обеспечения многоуровневой защиты от компрометации информации через физические каналы.

Датчики вибраций (акселерометры, пьезоэлектрические датчики) устанавливаются на конструктивных элементах защищаемых помещений, кабинетов, серверных шкафов и оборудования. Они фиксируют любые попытки целенаправленного вибро-акустического воздействия, а также реагируют на естественные вибрационные сигналы.

Микрофоны и акустические датчики регистрируют звуковые сигналы

как в слышимом, так и в инфразвуковом и ультразвуковом диапазонах, выявляя как прямые попытки перехвата речи, так и косвенные сигналы (например, вибрационно-акустические колебания конструкций).

Средства активного акустического зашумления генерируют широкополосный шум, белый шум или псевдослучайные сигналы в диапазоне частот, критичных для речевой информации (примерно 500–4000 Гц). Этот шум маскирует конфиденциальную информацию, делая её невозвратимой для удалённого перехвата.

Средства пассивного вибрационного зашумления создают вибрационные помехи путём излучения вибраций с непредсказуемыми параметрами, затрудняя или делая невозможным восстановление полезного сигнала из смеси с помехами.

Электронные системы подавления и фильтрации применяют адаптивные фильтры для подавления известных компонент фонового шума и вибрации, при этом сохраняя нормальное функционирование оборудования ИС. [30][31]

Примеры конкретных систем:

Система "КАМЕРТОН-5" — российская разработка для вибро-акустической защиты информации, включающая датчики, анализаторы и генераторы помех.

Система "УСПЕХ" — комплекс для защиты помещений от вибро-акустических каналов утечки.

Система "Буран" и её модификации — устройства вибро-акустической защиты, использующие принципы активного подавления вибраций.

Системы на базе платформы SVAM (System of Vibroacoustic Monitoring) — интегрированные решения для мониторинга и защиты.

Применение в различных типах инфраструктур

Защита дата-центров и серверных помещений требует особого внимания к вибро-акустическим угрозам, поскольку такие объекты содержат

критическую информацию и оборудование.

Установка виброизолирующих фундаментов и подвесных конструкций для разрыва прямых путей распространения вибраций от внешних источников.

Размещение датчиков вибрации в критических точках (входные кабельные каналы, несущие конструкции, монтажные рамы оборудования) для непрерывного мониторинга.

Интеграция систем мониторинга с общей системой управления зданием (BMS) и системой управления инфраструктурой (IMS) для оперативного реагирования на выявленные угрозы.

Защита офисных помещений и кабинетов для работы с конфиденциальной информацией:

Акустическая изоляция помещений с использованием звукопоглощающих материалов.

Установка активных систем шумоподавления ("белый шум", "розовый шум") для маскирования речевой информации.

Регулярный мониторинг вибро-акустического фона и его анализ для выявления попыток несанкционированного доступа.

Защита критической информационной инфраструктуры (КИИ):

Комплексный мониторинг с использованием сетевых датчиков и централизованных систем анализа.

Интеграция вибро-акустического мониторинга с другими каналами контроля безопасности (видеонаблюдение, система контроля доступа, ПЭМИ-мониторинг).

Создание резервных линий связи и резервных систем обработки данных для обеспечения отказоустойчивости. [22][24][23][21]

Технологическая база для оценки рисков

Использование комплексных методов и инструментов создаёт научную и техническую основу для систематической оценки рисков информационной

безопасности, связанных с вибро-акустическими воздействиями.

Количественная оценка угроз: на основе собранных данных о спектрах вибраций, уровнях звука, частотном содержании и вероятности перехвата проводится риск-анализ с использованием вероятностных моделей.

Построение моделей уязвимости: определение критических параметров вибраций, при которых возникает риск компрометации информации или функциональных отказов. Создание матриц соответствия между спектральными характеристиками и типами угроз.

Разработка стратегий защиты: на основе выявленных уязвимостей проектируются специфические защитные меры — как технические (виброизоляция, активное подавление), так и организационные (ограничение доступа, планирование техническими специалистами).

Непрерывное совершенствование: регулярный анализ данных мониторинга позволяет уточнять модели угроз, адаптировать системы защиты к выявленным новым типам воздействий и оптимизировать защитные мероприятия.

Интеграция с современными системами управления

Системы управления информационной безопасностью (SIEM) интегрируют данные вибро-акустического мониторинга с другими источниками информации о безопасности.

Корреляционный анализ: связь вибро-акустических аномалий с попытками доступа, логами сетевой активности, событиями в системах контроля доступа.

Автоматизированная генерация отчётов об инцидентах и рекомендаций по ответным действиям.

Поддержка принятия решений руководством по вопросам инвестиций в дополнительные меры защиты.

Таким образом, использование комплексных методов и инструментов мониторинга и защиты от вибро-акустических воздействий обеспечивает

высокий уровень достоверности обнаружения угроз, формирует надежную технологическую и методологическую базу для оценки рисков информационной безопасности в современных информационных инфраструктурах различного масштаба и назначения.

Примеры внедрения технологий в промышленности, транспорте, дата-центрах

Промышленность

- Внедрение системы вибро-диагностики крупногабаритных оборудования (например, карьерных экскаваторов). Результат — снижение аварийных отказов до 65-80%, сокращение простоев, увеличение межремонтных интервалов и срока службы оборудования, что приводит к значительному экономическому эффекту (пример — снижение простоев на 420 часов с экономией около 19 млн руб.).^[41]
- Уникальный пример — вибро-мониторинг колесопрокатного стана на металлургическом заводе, который обеспечивает контроль по 22 каналам вибрации, а также температуры и давления, позволяя диагностировать состояние узлов и предупреждать сбои.^[42]
- Системы мониторинга в нефтеперерабатывающей промышленности для управления насосными агрегатами, предотвращения аварий и повышения надежности эксплуатации.^[43]

Транспорт

- Использование вибро-акустического мониторинга дорожной обстановки через волоконно-оптические линии, реализованное на федеральной трассе М-5 "Урал". Система фиксирует события на дороге с точностью до 1 метра и помогает повысить безопасность и пропускную способность.^[44]
- Вибро-акустический мониторинг железнодорожного транспорта применяется для отслеживания движения поездов и повышения надежности блокировочных систем за счет интеграции вибро-акустики с

оптоволоконной связью, что снижает затраты на напольное оборудование и повышает безопасность.^[45]

Дата-центры и IT-инфраструктура

- Внедрение систем вибро-акустического мониторинга на объектах телекоммуникаций и дата-центрах (например, проекты с ОАО "Ростелеком") для мониторинга кабельных канализаций и защиты информационных систем от вибро-акустических угроз.^[46]
- Использование интегрированных решений с датчиками вибрации, микрофонами и системами активного шумоподавления для защиты информации и предотвращения утечек через вибро-акустические каналы.^{[47][48]}

Пример

Оценки виброустойчивости и вибропрочности печатных плат с помощью системы управления виброиспытаниями ZET 028

В РФ стране всё еще действует советский стандарт ГОСТ 20.57.406-81 «Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний (с Изменениями № 1–10)» с последним изданием в 2002 году, который устанавливает методы испытаний на воздействие механических, климатических, биологических внешних воздействующих факторов и специальных сред и методы оценки соответствия конструктивным требованиям.

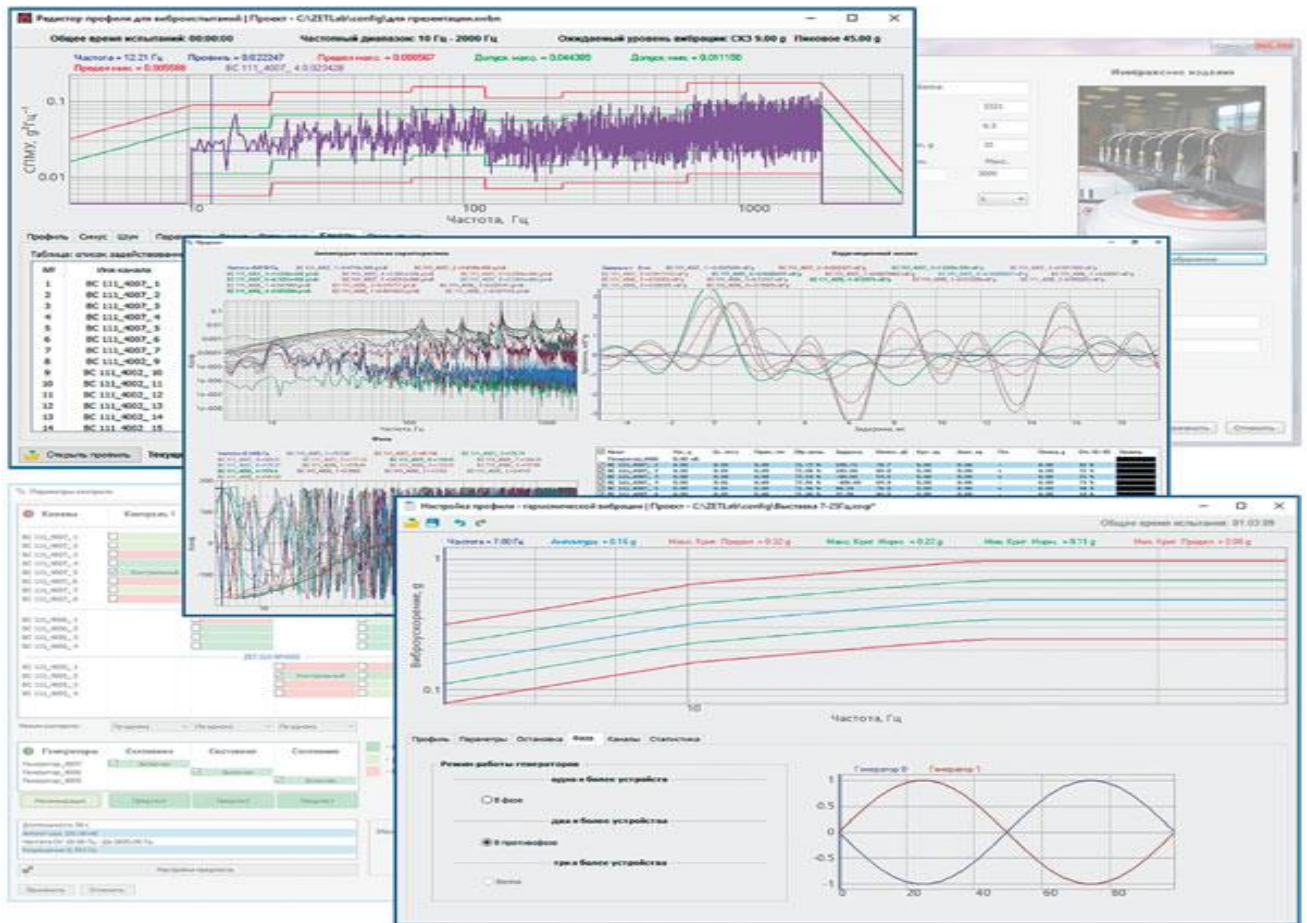


Рис. 1. ПО ZETLAB VIBRO: примеры интерфейса

Примеры вредоносного вибро-акустического воздействия на информационные системы

Включают использование звуковых волн для манипуляции жесткими дисками, что может привести к потере данных или сбоям в работе.

Также возможно использование ультразвуковых сигналов для вмешательства в работу микрофонов и динамиков, создавая помехи или записывая конфиденциальные разговоры.

Еще один пример - генерация акустических сигналов, которые могут влиять на чувствительные компоненты оборудования, вызывая их неправильное функционирование. Такие атаки могут быть направлены на нарушение работы систем безопасности или создание уязвимостей для дальнейших кибератак.

Вредоносное вибро-акустическое воздействие на информационные системы включает использование вибраций и звуков для нарушения их функционирования или вывода из строя. Это может быть физическое воздействие (например, вибрация жесткого диска, приводящая к повреждению данных), либо воздействие на электронику через акустические волны (например, запуск вредоносного кода через микрофон).

1. Физическое повреждение оборудования:

Вибрации жесткого диска: Искусственное создание сильных вибраций может повредить вращающиеся части жесткого диска, что приведет к потере данных или невозможности загрузки системы.

Удары или тряска: Физические удары по компьютеру или его компонентам могут привести к неисправностям и поломкам.

2. Акустические атаки:

Запуск вредоносного кода через микрофон: Злоумышленник может использовать специальную программу для отправки акустических волн, которые будут интерпретированы компьютером как командный сигнал, что приведет к запуску вредоносного ПО.

Разрушение акустическими волнами: Направленная акустическая волна

высокой мощности может повредить электронные компоненты, нарушив их работу.

Соккрытие информации: Создание акустического шума для маскировки других атак, таких как перехват данных или взлом.

3. Электромагнитные и радиоволны:

Перехват данных через побочные электромагнитные излучения и наводки (ПЭМИН): Использование специализированных устройств для считывания данных, которые передаются по кабелям или радио.

Радиоэлектронное подавление: Подавление или блокирование сигналов связи, используемых для передачи данных.

4. Физические атаки на сети:

Разрушение кабелей: Разрушение или перехват кабелей, используемых для передачи данных в сети, может привести к её выходу из строя.

Изменение или подмена сетевых устройств: Замена или подмена сетевых устройств злоумышленниками.

Защита от вибро-акустических атак:

Физическая защита:

Обеспечение физической защиты оборудования от ударов и вибраций (установка в безопасном помещении, использование виброизоляции).

Защита от акустических атак:

Использование звуковых шумоподавителей, антивирусных программ, которые могут распознавать и блокировать вредоносный код, передаваемый через микрофон.

Защита от ПЭМИН:

Использование экранированных кабелей, специальных устройств, которые подавляют ПЭМИН.

Защита сетей:

Установка систем контроля доступа, защита от физического вмешательства в сеть, мониторинг активности в сети.

Применение искусственного интеллекта для анализа вибро-акустических сигналов

Применение искусственного интеллекта (ИИ) для анализа вибро-акустических сигналов приобретает всё большую актуальность и эффективность в научных и практических задачах мониторинга и диагностики.

Основные подходы и методы ИИ

- Использование нейронных сетей для классификации состояний оборудования по вибрационным сигналам позволяет с высокой точностью (около 95% и выше) выявлять дефекты и прогнозировать аварии, что существенно повышает надежность диагностики и сокращает время реагирования.^{[63][64]}
- Машинное обучение и глубокое обучение применяются для фильтрации шумов, выделения значимых характеристик вибро-акустических данных, автоматической классификации источников вибраций и дефектов, а также для предиктивного анализа состояния оборудования.^{[65][66][67]}
- Вейвлет-анализ в сочетании с алгоритмами ИИ помогает локализовать частотные характеристики вибро-акустических сигналов во времени, выявляя нестационарные и скрытые изменения, труднообнаружимые традиционными методами.^{[68][69][70]}
- Разработка специализированных алгоритмов, таких как DNN (Deep Neural Networks), и методов выбора признаков улучшает точность и устойчивость диагностики, особенно при анализе сложных хаотических сигналов.^{[71][67]}

Практические применения

- Системы на базе ИИ успешно используют для мониторинга технического состояния дорог и инфраструктуры, где акустический и вибрационный анализ сопровождается обработкой больших объемов данных для оперативного выявления дефектов и аномалий.^{[72][65]}

- В промышленности ИИ становится «органом чувств» для оборудования, интегрируя данные вибрации, акустики, температуры и других сенсоров, что позволяет предсказывать неисправности и оптимизировать техническое обслуживание.^{[63][72]}
- Применение ИИ в вибро-акустической диагностике позволяет автоматизировать получение диагностических заключений, снижая участие экспертов и повышая скорость обработки данных.^{[73][74]}

Таким образом, ИИ существенно расширяет возможности анализа вибро-акустических сигналов, повышая точность, скорость и эффективность мониторинга и диагностики в различных областях техники и инфраструктуры. [66][65][63]

Математическая модель оценки

Математическая модель оценки устойчивости и надежности информационной системы (ИС) при вибро-акустических воздействиях базируется на комплексном учете динамических влияний вибраций и шума на компоненты ИС с применением методов теории устойчивости и надежности.

Основные составляющие модели

Динамическая модель вибро-акустических воздействий

Описание системы с учетом упругих и демпфирующих свойств носителей вибраций (конструкции, корпуса оборудования) с использованием уравнений динамики и метода конечных элементов (МКЭ).

Внешние вибро-акустические воздействия представлены как гармонические или стохастические функции, воздействующие на узлы системы.^{[83][84][85]}

Алгебраические и дифференциальные уравнения устойчивости

Уравнения движения компонентов ИС моделируются с нелинейными параметрами, где устойчивость оценивается через проверку условий

виброустойчивости (например, по критериям Гурвица или с использованием собственных частот системы).[84][83]

Решения представляются в виде суперпозиции реакций на гармонические воздействия и оцениваются по амплитудам колебаний и энергетическим характеристикам.

Вероятностно-статистическая оценка надежности

Надежность моделируется функциями живучести (выносливости) компонентов ИС, учитывающими вероятности отказов из-за виброакустических повреждений.

Применяются полумарковские процессы и функции распределения времени безотказной работы с учетом случайных нагрузок и режимов восстановления.[86][87]

Критерии оценки

Пороговые значения вибрационных параметров (амплитуды, частоты), при которых наступает нарушение функционирования ИС.

Уровни допустимых деформаций и напряжений в конструктивных элементах.

Вероятность отказа или снижения качества работы информационной системы в заданный промежуток времени.[88][83]

Пример обобщенного уравнения движения для узла ИС:

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = F(t)$$

где m — масса узла, c — коэффициент демпфирования, k — жесткость, $x(t)$ — перемещение, $F(t)$ — внешняя вибрационная нагрузка.

Дополнения к модели

Включение методов численного моделирования и верификации с помощью экспериментальных данных.

Математическая модель позволяет учитывать разные уровни вибрации, режимы эксплуатации, влияния резонанса и усталостных явлений.

Формализация и алгоритмы реализации устойчивости и надежности на

вычислительном уровне для оценки рисков воздействия вибро-акустики на ИС.[83][86][84]

Таким образом, предлагаемая модель представляет собой совокупность физико-математических уравнений, вероятностных методов и критериев, отражающих влияние вибро-акустических воздействий на функционирование и надежность информационной системы с возможностью адаптации под конкретные условия и типы оборудования.[87][86][83]

ГЛАВА 3. Экспериментальная часть

3.1. Экспериментальная установка

- Включает виброизолированный универсальный фундамент, обеспечивающий контроль механических сопротивлений и изоляцию внешних помех.
- Камера или стенд для испытаний с определенными размерами свободного пространства и частотным диапазоном (например, 5-10 000 Гц), чтобы обеспечивать условия для моделирования вибро-акустических воздействий.
- Возможна интеграция ударных стендов для определения ударопрочности оборудования и программных средств для анализа экспериментальных данных.
- Используются специальные вибро-акустические датчики, акселерометры, микрофоны (например, преполяризованный микрофон свободного поля), а также лазерные виброметры для бесконтактного измерения вибраций с высокой точностью.

Инструменты и методики

- Портативные модульные анализаторы вибро-акустических сигналов в режиме реального времени с программным обеспечением для интенсивметрических измерений и анализа спектра.
- Использование акустических сенсоров для измерения шумов и вибраций, преобразующих акустическую энергию в электрические сигналы.
- Лазерная виброметрия для точного, бесконтактного определения характеристик вибраций.
- Применение специализированного программного обеспечения с алгоритмами обработки и распознавания вибро-акустических сигналов, а также методами статистической обработки данных для выявления максимальных амплитуд и резонансных частот.
- Методы измерения параметров вибрации включают как

контактные (например, акселерометры), так и бесконтактные (лазерные виброметры, ультразвуковая фазометрия) приборы.

- Возможна интеграция сетевых и беспроводных систем для распределенного измерения и мониторинга вибро-акустических воздействий.

Описание стенда

Лабораторный стенд предназначен для проведения экспериментальных исследований влияния вибро-акустических воздействий на функционирование информационных систем, а также для изучения каналов утечки информации по акустическим и вибро-акустическим каналам. Стенд включает макет помещения с возможностью замены панелей для моделирования различных конструкций, а также набор измерительных и вспомогательных приборов для регистрации и анализа вибро-акустических сигналов.

Основные параметры стенда

- Размеры макета: стандартная конфигурация 2х2х2.5 м, с возможностью изменения конструкции панелей для имитации различных типов ограждающих конструкций.
- Диапазон частот вибрации: 5–10 000 Гц.
- Диапазон частот акустических воздействий: 20–20 000 Гц.
- Возможность моделирования различных типов вибро-акустических воздействий: гармонических, случайных, ударных.
- Виброизоляция основания: виброизолирующие прокладки для исключения внешних помех.

Перечень оборудования

- Макет комнаты со сменными панелями (1 шт.).
- Набор измерительных приборов:
- Акселерометры (например, трехкоординатные виброметры) для измерения вибрации.
- Микрофоны (преполяризованные, свободного поля) для

измерения акустических сигналов.

- Портативный анализатор вибро-акустических сигналов (например, АССИСТЕНТ М или аналог) с программным обеспечением для анализа спектра и статистической обработки данных.[103]
- Лазерный виброметр для бесконтактного измерения вибраций.[104]
- Система акустической и вибро-акустической защиты информации (например, комплекс Камертон-5)[105]:
 - Генератор маскирующего шума.
 - Виброизлучатели и акустоизлучатели.
 - Размыкатели проводных линий.
 - Виброшторы.
 - Вспомогательное оборудование: крепежные элементы, адаптеры, штативы, калибраторы.
- Набор технической документации: руководства по эксплуатации, методики измерений, протоколы лабораторных работ.

Методики и режимы работы

- Измерение вибрации и акустических сигналов в различных точках стенда.
- Моделирование вибро-акустических воздействий с помощью генераторов шума и вибрации.
- Оценка эффективности средств защиты от утечки информации по акустическим и вибро-акустическим каналам.
- Статистическая обработка результатов измерений, анализ спектров, определение резонансных частот и амплитуд.

Примечания

- Стенд позволяет проводить как количественные, так и качественные исследования вибро-акустических воздействий на информационные системы.

- Все измерительные приборы соответствуют требованиям действующих стандартов и имеют сертификаты метрологической поверки.
- Возможна интеграция дополнительных датчиков и программного обеспечения для расширения функциональности стенда.

3.2.Методика проведения испытаний вибро-акустического воздействия на ИС

1. Подготовительный этап

- Выбор объекта исследования: выбирается конкретное устройство или система, например, серверный шкаф, кабельные трассы или отдельные модули информационной системы.
- Определение зон контроля вибрации: отмечаются места с повышенной чувствительностью к вибрациям (элементы крепежа, корпус, электронные блоки).
- Подготовка и установка измерительного оборудования:
- Контактные акселерометры устанавливаются на контрольных точках.
- Лазерные виброметры и микрофоны располагаются для бесконтактных измерений.
- Калибровка приборов и проверка связи с системой сбора данных.

2. Фаза базовых измерений

- Регистрация фоновых уровней вибраций и акустического шума в рабочих условиях без искусственных воздействий в течение заданного периода (например, 24 часа).
- Составление спектрального профиля вибраций.

3. Проведение контролируемых воздействий

- Создание эталонных вибраций с помощью вибрационного генератора с регулируемой частотой и амплитудой.
- Пошаговая регистрация реакций ИС на данные воздействия.

- Измерение параметров колебаний в разных точках, мониторинг состояния оборудования (температура, рабочие показатели).

4. Мониторинг и фиксация аномалий

- Непрерывный сбор данных в течение эксплуатационного цикла.
- Использование автоматизированных алгоритмов обработки для выявления аномальных событий (всплесков амплитуды, изменения спектра и т.д.).

5. Обработка и анализ данных

- Применение спектрального анализа, фильтрации шумов, вейвлет-преобразований.
- Использование алгоритмов искусственного интеллекта или машинного обучения для классификации видов вибро-акустических воздействий.

6. Оценка устойчивости и надежности

- Сопоставление результатов мониторинга с установленными пороговыми значениями.
- Моделирование прогнозируемой работы ИС с учётом выявленных вибраций.

7. Документирование результатов испытаний

- Формирование отчетов с подробным описанием условий испытаний, полученных данных и выводов.

3.3. Основные аспекты оценки влияния вибро-акустических нагрузок

1. Вредоносные эффекты вибраций и акустики на элементы ИС

- Механические повреждения (усталостное разрушение, растрескивание паяных соединений, облом выводов, деформация корпусов и крепежных элементов).[106]
- Нарушение электрических характеристик вследствие смещения компонентов и вибрационного износа.
- Возникновение шумов и искажений в сигналах, снижение качества

передачи данных.

- Ускорение процессов старения электронных компонентов за счет вибрационно-тепловых эффектов.[87]

2. Методы оценки

- Экспериментальные: испытания на вибростендах с гамма-гармоническими и случайными нагрузками в широком диапазоне частот и амплитуд.
- Математическое моделирование (например, метод конечных элементов) для оценки напряженно-деформированного состояния и определения критических зон вибрационного воздействия.
- Статистический анализ для прогнозирования вероятности отказа электронных компонентов под воздействием виброакустики.

3. Критерии оценки устойчивости и надежности

- Предельные значения амплитуд и частот вибраций, при которых сохраняется функциональность и целостность системы.
- Уровни допустимой виброусталости и срока службы до вероятного отказа.[87][107]
- Сравнение с нормативными требованиями по вибро- и акустическому воздействию (ГОСТы и международные стандарты).[108][109]

4. Практические рекомендации

- Применение демпфирующих и виброизолирующих материалов для снижения передачи вибраций к чувствительным компонентам.
- Регулярный мониторинг состояния с использованием виброакустической диагностики и средств автоматического оповещения о превышении пороговых значений вибраций.
- Внедрение методов искусственного интеллекта для анализа виброакустических данных и своевременного выявления признаков деградации.

ГЛАВА 4. Разработка и апробация методов защиты

4.1. Технические решения для защиты от вибро-акустических воздействий

Активные системы вибро-акустической защиты

Активные методы защиты основаны на генерации маскирующих помех, которые затрудняют перехват и расшифровку акустических сигналов по вибро-акустическим каналам. Основные компоненты активных систем включают: ^[110]

Генераторы маскирующего шума. Применяются генераторы белого или розового шума с возможностью настройки спектральных характеристик в диапазоне речевых частот (300–4000 Гц). Системы типа «Гамма СВАЗ-01», «ВВ301», «Камертон-5» включают многоканальные генераторы с независимыми каналами формирования шума для предотвращения пространственно-временной фильтрации сигнала. ^[111]

Виброизлучатели и акустоизлучатели. Используются пьезоэлектрические и электромагнитные вибропреобразователи, устанавливаемые на ограждающих конструкциях (стены, окна, потолки, трубы) с помощью клея, дюбелей или хомутов. Количество излучателей определяется площадью помещения, количеством окон и инженерных коммуникаций. ^{[110][112]}

Размыкатели линий и виброшторы. Для защиты от электроакустических преобразований используются размыкатели проводных линий, обеспечивающие гальваническое разъединение, и виброшторы для блокирования направленного лазерного излучения на остекление.

Критерий эффективности. Эффективность активных систем оценивается превышением интегрального уровня маскирующей помехи над уровнем речевого сигнала не менее чем на 20 дБ, что обеспечивает невозможность определения факта наличия переговоров в защищаемом помещении.



Рис. 2 Пример комплекса системы вибро-акустической защиты.

Пассивные методы звуко- и виброизоляции

Пассивные методы направлены на снижение уровня информативного сигнала за счет улучшения изолирующих свойств конструкций:^[113]

Архитектурно-строительные решения.

Виброизоляция и демпфирование. Используются виброизоляторы на основе резины, полиуретановых матов, пружинных элементов для снижения передачи вибраций от оборудования к строительным конструкциям. Установка демпфирующих элементов в местах крепления серверных шкафов и стоек обеспечивает снижение структурного шума до 8 дБ.

Специальные материалы.

Пассивные методы защиты информационных систем от вибро-акустических атак основаны на физических принципах ослабления и рассеивания энергии колебаний, достигаемых за счёт совершенствования конструктивных характеристик зданий и сооружений. Такие методы не требуют активной электронной обработки сигналов и обеспечивают фундаментальный уровень защиты.

Архитектурно-строительные решения для акустической и вибро-акустической защиты

Многослойные конструкции стен и перегородок представляют собой классический и наиболее эффективный подход к снижению передачи звука и вибраций через строительные конструкции. ^{[114][110]}

Структура многослойных стен: состоит из чередующихся слоёв жёстких элементов (кирпич, бетон, гипсокартон) и пористых звукопоглощающих материалов (минеральная вата, стеклянная вата, пористая штукатурка). Эффект защиты достигается благодаря нескольким механизмам: отражению энергии звука от жёстких слоёв, поглощению энергии в пористых материалах за счёт трения воздуха в порах материала, а также разрывом прямого пути распространения вибраций через воздушные зазоры.

Эффективность: многослойные конструкции обеспечивают затухание вибрационных и акустических сигналов в диапазоне 32–60 дБ в зависимости от типа конструкции, толщины слоёв, типа используемых материалов и частотного диапазона воздействия. Наиболее эффективны для низкочастотных компонент вибраций (5–500 Гц).

Звукопоглощающие отделочные материалы и текстиль:

Ковры и ковровые покрытия поглощают звук, особенно в частотном диапазоне 250–2000 Гц, обеспечивают затухание на 3–5 дБ в зависимости от типа и толщины.

Портьеры и тканевые занавесы обладают звукопоглощающими свойствами,

особенно если они размещены с небольшим расстоянием от стен (воздушный зазор 5–10 см), что позволяет использовать полость как резонатор. Эффект затухания достигает 5–10 дБ.

Жалюзи и акустические панели на окнах и дверях дополнительно снижают передачу звука, особенно среднечастотных компонент.

Оконные и дверные конструкции:

Двойные стеклопакеты с акустическими экранами состоят из двух слоёв стекла различной толщины, разделённых воздушным зазором (обычно 100–150 мм). Различная толщина стёкол гарантирует, что резонансные частоты первого и второго стёкол не совпадают, что повышает общее ослабление звука. Достигается затухание 40–50 дБ для звука и значительное снижение вибрационной передачи.

Двери с двойными коробками и тамбурами (воздушные шлюзы) обеспечивают дополнительное ослабление звука и предотвращение прямой передачи вибраций через дверной проём. Тамбур создаёт дополнительный воздушный зазор, увеличивая эффективность акустической изоляции на 10–20 дБ по сравнению с одиночной дверью.

Виброизоляция и демпфирование

Виброизоляторы и основания для оборудования предотвращают передачу вибраций от работающего оборудования (серверы, трансформаторы, системы охлаждения) к строительным конструкциям зданий.

Материалы виброизоляторов: резинометаллические прокладки, полиуретановые маты, пробковые прокладки, пружинные элементы (обычно из стали). Каждый материал имеет характерную частоту собственных колебаний и область эффективности. Резина обычно эффективна в диапазоне 10–200 Гц, пружины — в более широком диапазоне 1–500 Гц.

Принцип действия: виброизолятор подобен механическому фильтру нижних частот. Когда частота воздействия выше собственной частоты системы (виброизолятор + оборудование), передача вибрации к основанию снижается примерно на 20 дБ на декаду частоты.

Эффективность: при правильном выборе и монтаже виброизоляторы обеспечивают снижение структурного шума и передачи вибраций на 8–15 дБ. Комбинация нескольких виброизоляторов под серверной стойкой позволяет достичь более высоких значений ослабления.

Демпфирующие элементы

Установка демпфирующих прокладок в местах крепления серверных шкафов, кабельных лотков, проводных кабелей к строительным конструкциям. Такие прокладки (обычно из резины, неопрена или специализированных полимеров) рассеивают энергию вибрационных колебаний в виде тепла.

Демпфирующие слои в составе многослойных конструкций повышают эффективность ослабления на 5–8 дБ по сравнению с недемпфированными конструкциями.

Развязка механических путей:

Разделение строительных конструкций помещения ИС от остальной конструкции здания с помощью виброизолирующих подвесов для потолков и стен. Это предотвращает передачу вибраций от этажей выше и ниже в защищённое помещение.

Использование "плавающих" полов — специальных полов, установленных на упругих опорах, отделённых от несущей конструкции здания. Обеспечивают ослабление вибраций на 10–20 дБ.

Специальные материалы для шумо- и виброизоляции

Высокотехнологичные самоклеящиеся материалы представляют собой современный класс звуко- и виброизоляционных материалов, разработанные специально для критической инфраструктуры и информационных систем.^[115]

K-FONIK ST HG (и аналоги) — самоклеящийся материал на основе вспененного полиэтилена с добавлением минеральных наполнителей. Обладает высокими звукопоглощающими и виброизоляционными свойствами при минимальной толщине (всего 2 мм). Коэффициент звукопоглощения $\alpha = 0,8–0,95$ в диапазоне 250–2000 Гц. Может быть применён к внутренним поверхностям

корпусов оборудования, внутренним стенкам кабинетов и серверных шкафов для снижения структурного резонанса.

К-FONIK P — упругий полимерный материал, предназначенный специально для подавления вибрационных колебаний конструкций. Обеспечивает затухание вибраций в критическом диапазоне частот 5–500 Гц на 10–15 дБ, при этом имеет малый вес и занимает минимальное пространство.

Шумофф М2-М3 (отечественный аналог) — самоклеящийся многослойный материал, состоящий из слоя вязкоупругого полимера, поддерживаемого слоем битумной мастики и защитного слоя. Характеризуется высокой эффективностью демпфирования в диапазоне 20–5000 Гц, обеспечивает затухание до 12 дБ. Устойчив к температурным перепадам и влаге.

Применение специальных материалов

Нанесение на внутренние поверхности серверных шкафов и кабинетов для снижения резонансных явлений в конструкции.

Применение в кабельных каналах и коридорах для подавления вибраций, передаваемых по трубопроводам и кабельным системам.

Использование на поверхностях крепления оборудования для разрыва прямых путей передачи вибраций.

Интеграция в конструктивные элементы стен и перегородок защищённых помещений.

Комбинированный подход

Наиболее эффективная пассивная защита достигается при комбинированном применении нескольких методов:

Использование многослойных конструкций стен + виброизоляция оборудования + специальные материалы на поверхностях + звукопоглощающие отделочные материалы.

Такой комбинированный подход позволяет достичь затухания вибрационно-акустических сигналов на 50–80 дБ, что практически полностью исключает возможность утечки информации через вибро-акустические каналы и

предотвращает воздействие внешних вибраций на критическое оборудование.

Пассивные методы имеют ряд преимуществ: надёжность, долговечность эффекта (отсутствие электронных компонентов, которые могут выйти из строя), низкие эксплуатационные расходы, а также полную совместимость с другими мерами информационной безопасности. Вместе с тем они требуют значительных капитальных вложений и могут быть ограничены архитектурными возможностями зданий. Поэтому в практике часто применяется сочетание пассивных и активных методов защиты для достижения оптимального баланса между эффективностью, стоимостью и практической реализуемостью.



Рис 3. Шумоизоляция серверного шкафа

Комбинированные решения

Наибольшую эффективность обеспечивает комплексный подход, сочетающий активные и пассивные методы защиты. Соотношение между пассивной и активной защитой может быть выражено следующим образом: увеличение пассивной защиты в 2 раза (на 3 дБ) приводит к снижению требований к активной защите в 4 раза (на 6 дБ).^[113]

Рис 3. Шумоизоляция серверного шкафа

<https://tsi-auto.ru/news/kak-sdelat-shumoizolyatsiyu-servernogo-shkafa-ili-majning-fermy>

4.2. Инженерные решения и методы реализации

Проектирование систем защиты

Анализ архитектурно-строительной документации. На начальном этапе проводится анализ проектной документации на системы инженерного обеспечения, определяются потенциальные каналы утечки информации, разрабатывается специальная часть проектов с учетом требований вибро-акустической безопасности.

Проектирование систем защиты информационных систем от вибро-акустических атак представляет собой комплексный процесс, требующий тщательного анализа существующей архитектуры, нормативной базы и разработки детальной стратегии внедрения защитных мероприятий.

Анализ архитектурно-строительной документации

Предварительное обследование и документирование является критическим первым этапом разработки системы защиты.

Изучение проектной документации: анализируются планы зданий, разрезы, схемы инженерных систем (электроснабжение, водоснабжение, вентиляция, газоснабжение, связь). Это позволяет выявить все потенциальные пути распространения вибро-акустических сигналов, в том числе через подвалы, чердаки, кровли, перекрытия.

Идентификация уязвимостей: определяются "слабые места" в конструкции (например, неизолированные проходы коммуникаций через стены, щели в полах, неплотные соединения в кабельных каналах, окна без акустических экранов), через которые возможна передача вибро-акустических сигналов.

Маршрутизация инженерных коммуникаций: анализируется расположение трубопроводов, кабельных лотков, воздухопроводов, которые могут служить "волноводами" для распространения вибро-акустических колебаний. Трубопроводы систем отопления, вентиляции и водоснабжения являются особенно критическими, так как обладают низким затуханием вибраций.

Разработка специальной части проектов: на основе анализа

архитектурной документации подготавливаются или корректируются проектные решения, учитывающие требования вибро-акустической безопасности.

Включение в проектную документацию требований по виброизоляции оборудования, акустической изоляции помещений, применению специальных материалов.

Разработка схем размещения датчиков мониторинга, маркировки критических зон.

Определение технических характеристик необходимого оборудования защиты (виброизоляторы, акустические экраны, генераторы помех).

Определение контролируемой зоны

Установление границ защиты является ключевым аспектом проектирования, определяющим масштаб и интенсивность защитных мероприятий. ^{[119][118]}

Контролируемая зона для акустических каналов: определяется пространством, в котором акустические сигналы могут быть перехвачены с достаточной разборчивостью. При прямом распространении по воздуху (без препятствий) — это может быть расстояние до 20–50 метров. При распространении через структуры зданий — расстояние может быть значительно большим (до 100+ метров), поэтому часто выбирается граница, соответствующая границам здания или расширенной приватной территории.

Контролируемая зона для вибрационных каналов: определяется структурой здания. Обычно включает помещение, где размещена ИС, смежные помещения на одном этаже и помещения этажом выше/ниже. Вибрации могут передаваться через общие строительные конструкции на расстояния 10–30 метров в зависимости от жёсткости конструкций.

Нормативная база для определения предельно-допустимых уровней:

ГОСТ 12.1.003-83 "Шум. Общие требования безопасности" устанавливает предельно-допустимые уровни звука (ПДУ) в рабочих помещениях. Для офисных и серверных помещений ПДУ составляет 50–70 дБ(А) в зависимости от типа работ.

СН 2.2.4/2.1.8.566-96 "Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий" регламентирует предельно-допустимые уровни вибраций, выраженные в логарифмической шкале (дБ). Для рабочих мест в офисах и дата-центрах предельно-допустимые уровни вибрации составляют 71–82 дБ в зависимости от частотного диапазона.

Эти стандарты служат опорной базой при установлении пороговых значений для систем мониторинга и определении необходимого уровня защиты.

Размещение элементов защиты

Расчёт количества и расположения защитных элементов требует учёта множества факторов и проведения специальных расчётов. ^[112]

Акустоизлучатели (генераторы маскирующего шума):

Расчёт требуемого количества: основывается на звукоизолирующих свойствах помещения, объёме помещения и требуемой интенсивности маскирующего шума.

Типовые норм: один акустоизлучатель рекомендуется размещать на каждые 8–12 м³ надпотолочного пространства (промежуток между подвесным потолком и несущей конструкцией). Это пространство является "слабым местом" для утечки информации, так как звук легко распространяется через щели и полости.

Расположение: акустоизлучатели размещаются в верхней части помещения (под потолком, часто в надпотолочном пространстве) для обеспечения максимально равномерного распределения маскирующего шума по всему объёму. Использование нескольких источников предотвращает образование "мёртвых зон" с низким уровнем защиты.

Характеристики излучателей: должны обеспечивать равномерное

усиление маскирующего сигнала в частотном диапазоне 500–4000 Гц (именно этот диапазон критичен для речевой информации). Обычно используется белый или розовый шум с уровнем 70–80 дБ(А).

Вибровозбудители (генераторы маскирующих вибраций):

Стратегия размещения: вибровозбудители устанавливаются на конструктивных элементах (стены, полы, потолки, кабельные лотки, трубопроводы) для создания фонового вибрационного шума, который маскирует информационные вибрационные сигналы.

Типовые нормы: один вибровозбудитель рекомендуется размещать на каждое отдельное стекло (окно, витраж) площадью более 1–2 м². Кроме того, вибровозбудители устанавливаются в критических местах передачи вибраций: на стыках стен и потолка, в местах прохождения коммуникаций, на дверях.

Мощность и рабочий диапазон: вибровозбудители должны работать в диапазоне частот 1–1000 Гц, с амплитудой, достаточной для маскирования информационного сигнала (обычно 60–75 дБ) без чрезмерного воздействия на оборудование ИС.

Конфигурация ограждающих конструкций и её влияние на защиту:

Открытые архитектуры (open-plan офисы, большие залы без внутренних перегородок) требуют установки большего количества излучателей и более интенсивного маскирующего сигнала.

Разделённые помещения (отдельные офисы, кабинеты) требуют локализованной защиты в каждом помещении.

Наличие инженерных коммуникаций: каналы, где проходят трубопроводы или кабели, являются особенными критическими зонами передачи вибраций, поэтому в таких местах требуется дополнительное размещение вибровозбудителей и применение виброизоляции.

Интеграция с другими системами безопасности

Комплексный подход к проектированию обеспечивает согласованность вибро-акустической защиты с другими системами информационной

безопасности.

Координация с системами контроля доступа, видеонаблюдения, пожарной сигнализации и другими инженерными системами.

Расчёт требуемых каналов передачи данных, электропитания и управления для системы вибро-акустической защиты.

Определение точек подключения датчиков мониторинга к централизованной системе обработки информации.

Таким образом, профессиональное проектирование систем защиты от вибро-акустических атак требует детального анализа архитектуры объекта, применения нормативной базы, точного расчёта параметров защитного оборудования и его грамотного размещения, обеспечивающих эффективную и экономически целесообразную защиту информационных систем.

Монтаж и настройка систем

Установка виброизоляции. При монтаже сетевого и серверного оборудования применяются виброзащитные вставки, демпфирующие элементы из материалов типа Липлент Зик 50 в местах крепления стоек, полок и оборудования для снижения передачи колебаний на корпус и строительные конструкции.^{[117][116]}

Настройка активных систем. Проводится настройка АЧХ (амплитудно-частотных характеристик) генераторов шума, регулировка уровней в октавных полосах (диапазон регулировки не менее 20 дБ), оптимизация размещения вибродатчиков для минимизации паразитного шума в защищаемом помещении при достаточном уровне помехи в каналах утечки.^[112]

Сейсмоустойчивость и виброизоляция серверного оборудования. Для критически важных информационных систем применяются специализированные решения типа SYSMATRIX SEISMIC с тросовыми виброизоляторами из нержавеющей стали, поглощающими до 70% энергии толчков и

обеспечивающими защиту при землетрясениях до 7 баллов.^[116]

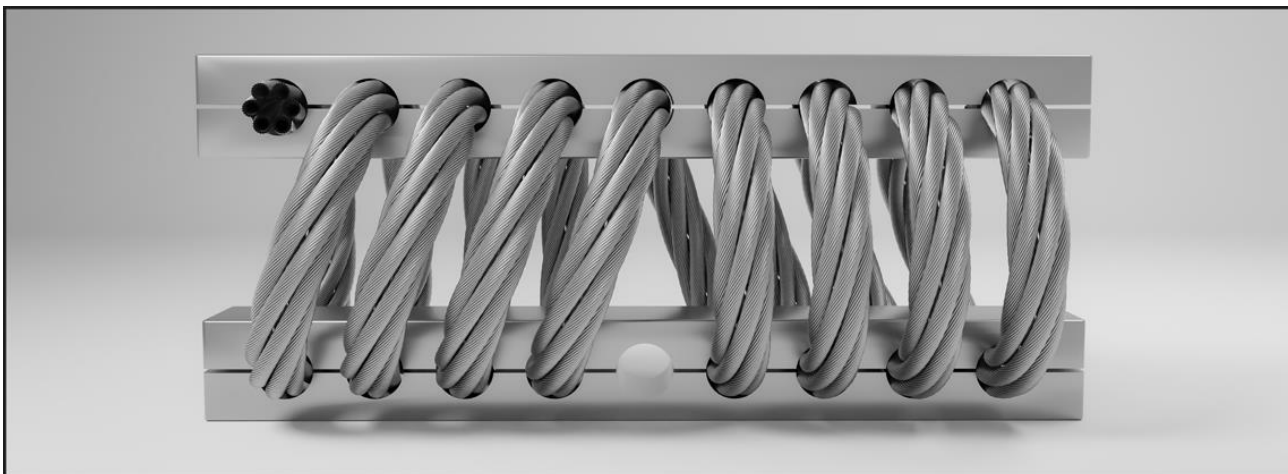


Рис. 4 SYSMATRIX SEISMIC - демпфирующий элемент

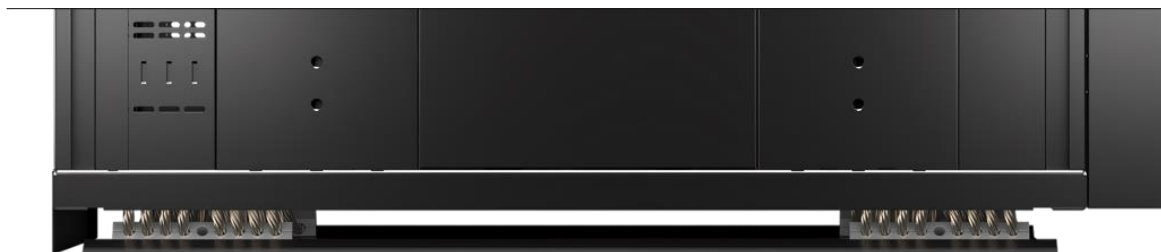


Рис. 5 SYSMATRIX SEISMIC - демпфирующий элемент на серверной стойке

Рис. 4-5 SYSMATRIX SEISMIC - демпфирующий элемент

<https://sysmatrix.ru/news/sysmatrix-seismic>

4.3. Методология апробации систем защиты

Экспериментальная оценка эффективности

Инструментальные измерения. Апробация систем вибро-акустической защиты включает измерение уровня тестового акустического сигнала вблизи источника и в контрольных точках на ограждающих конструкциях и инженерных коммуникациях. Используются программно-аппаратные комплексы типа «Шепот», «BE 100», «СМАРТ-АВ», анализаторы SI-4000, АССИСТЕНТ. ^[114]

Расчет показателей защищенности. Основным критерием является энергетический показатель в виде отношения сигнал/помеха. Помещение считается защищенным, если превышение помехи над сигналом составляет не менее 20 дБ. Для оценки применяются методы Покровского, основанные на расчете формантных параметров и весовых коэффициентов речевых сигналов. ^{[118][114]}

Размещение контрольных точек. На вертикальных ограждающих конструкциях контрольные точки размещаются на высоте 1,5 м с частотой одна точка на каждые два погонных метра стены, одна точка на дверь, одна точка на каждую оконную фрамугу. На горизонтальных конструкциях — одна точка на квадрат 2×2 м. ^{[120][121]}

Оценка комфортности и соответствия нормам

Санитарно-гигиенические нормы. Мешающий шумовой фон в защищаемом помещении не должен превышать приемлемой величины (обычно 45-52 дБ для рабочих помещений). Системы защиты должны обеспечивать низкий уровень собственного шума, не мешающий комфортному ведению переговоров.

Периодический контроль. Рекомендуется проведение регулярных проверок эффективности защиты (раз в 2 года), включающих специальные исследования, техническую проверку систем, выполнение требований стандартов и нормативов по уровням маскирующего шума и виброизоляции. ^[116]

4.4. Документирование результатов

По результатам разработки и апробации готовятся протоколы испытаний, технические отчеты, заключения о соответствии систем защиты требованиям ФСТЭК России, ГОСТ Р 51522-99, ISO 16750, GR-63-CORE. Формируется база данных о результатах измерений, включающая информацию о местах проведения измерений, параметрах оборудования и расчетах показателей защищенности.^{[114][116]}

Заключение

Комплексный подход к разработке и апробации методов защиты, сочетающий активные и пассивные технические решения с грамотными инженерными мероприятиями, обеспечивает эффективную защиту информационных систем от вибро-акустических угроз. Экспериментальная проверка на базе специализированных стендов и измерительных комплексов позволяет подтвердить соответствие разработанных систем нормативным требованиям и гарантировать требуемый уровень информационной безопасности.

Анализ результатов исследований, формулирование выводов и рекомендаций

Выбор тематики исследования обусловлен актуальностью риска возникновения аппаратных сбоев, вызванных тем или иным воздействием на информационные системы.

Вибро-акустические атаки могут быть эффективным способом для злоумышленников для нарушения работы информационных систем, поэтому важно уделять внимание физической и технической защите от таких угроз.

Так же важно учитывать и не умышленное вмешательство, например длительно работающую тяжелую технику, вблизи важных узлов хранения данных.

Анализ полученных данных в исследовании

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о необходимости учитывать особенности организации серверного помещения, учитывая доступность, шумо- и виброизоляцию, и количество серверного оборудования.

Список используемой литературы

1. <https://searchinform.ru/analitika-v-oblasti-ib/utechki-informatsii/sluchai-utechki-informatsii/vibroakusticheskij-kanal-utechki-informatsii/>
2. <http://zpdn.dzamba.ru/index.php?page=22&type=1>
3. <https://repo.ssau.ru/handle/Uchebnye-izdaniya/Akusticheskie-i-vibroakusticheskie-kanaly-utechki-informacii-Teoreticheskie-osnovy-i-bazovyi-praktikum-92539>
4. <https://elvis.ru/upload/iblock/f60/f602ee2337fcc7250c71c2a138fe9ecc.pdf>
5. <https://falcongaze.com/ru/pressroom/publications/informacionnaya-bezopasnost-v-otraslyah/analiz-ugroz-ib.html>
6. <https://iee.unn.ru/wp-content/uploads/sites/9/2018/02/2.Inf.ugrozy-vred.programmykomp.prestupleniya.pdf>
7. <https://studfile.net/preview/3548154/>
8. <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-ugroz-i-uyazvimostey-informatsionnoy-bezopasnosti-v-korporativnyh-sistemah>
9. <https://skydns.ru/blog/ughrozy-informatsionnoi-biezopasnosti>
10. https://omgtu.ru/scientific_activities/dissertatsionnye_sovety/obyavleniya_o_zas_hchite_dissertatsiy_i_dokumenty_k_nim/Kudryavtseva/Диссертация_Кудрявцевой_И.С..pdf
11. https://nami.ru/uploads/docs/dessert_sovet_docs2/55a5fc3548187Malkin_Autoreferat.pdf
12. <https://fcrisk.ru/node/2735>
13. <https://cyberleninka.ru/article/n/empiricheskie-issledovaniya-vibroakusticheskikh-vozddeystviy-na-operatorov-vypravochno-podbivochnyh-mashin>
14. <https://tpz.ru/resheniya/233/>
15. <https://cyberleninka.ru/article/n/o-veroyatnosti-oshibki-obnaruzheniya-nesanktsionirovannyh-vozddeystviy-na-truboprovod-aktivnym-vibroakusticheskim-sposobom-kontrolya>
16. <https://elibrary.ru/item.asp?id=46480294>

17. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_99662/d905c478f59e8040457a988a99cb8abbb30e584b/
18. <https://www.dissercat.com/content/nauchno-metodicheskie-osnovy-vibrodiagnosticheskogo-monitoringa-porshnevnykh-mashin-v-realnom>
19. https://www.cnews.ru/reviews/free/oldcom/security/elvis_class.shtml
20. https://www.vitafon-market.ru/vitafon/vitafon_pdf/Otcet_Adenoma.pdf
21. <https://isup.ru/articles/71/15762/>
22. <https://www.pruftechnik.com/ru/5-key-types-of-vibration-measurement-tools/>
23. <https://www.prom-terra.ru/articles/zamery-vibratsii-vazhnost-i-metody.html>
24. <https://kit-e.ru/vibroakusticheskaya-diaagnostika/>
25. <https://olil.ru/articles/primenenie-datchikov-vibratsii-dlya-monitoringa-vibratsii-vrashhajushhihsya-i-vozvratno-postupatelnyh-mashin>
26. <https://msoe.ru/articles/2024/55-13/>
27. http://www.eurolab.ru/izmerenie_vibratsii_pribory
28. <https://vibro-expert.ru/metodika-vibratsionnogo-monitoringa-periodicheskibalansiruemix-rotornix-mashin.html>
29. <https://cyberleninka.ru/article/n/kompyuternyy-vibratsionnyy-monitoring-mehanizmov-i-turboagregatov>
30. https://detsys.ru/catalog/vibroakusticheskaya_zashchita/kamerton_5/
31. http://www.info-secur.ru/is_14/luk'yanov.pdf
32. <https://itsec2012.ru/sistemy-vibroakusticheskoy-zashchity-pomeshcheniy>
33. https://cab3l.pdf/f/metodicheskiye_rekomendatsii_po_primeneniyu_0_0.pdf
34. <https://ntm.ru/products/87/8609>
35. https://hygiene.octava.info/metody_i_sredstva_izmereniya_shuma_i_vibratsii_v_pomeshcheniyah_zhilyh_i_obshchestvennyh_zdaniy_i_na
36. <https://basis-smis.ru/vibrometric-monitoring>
37. <https://intuit.ru/studies/courses/2291/591/lecture/12700>
38. https://nelk.ru/catalog/tekhnicheskie_sredstva_zashchity_informatsii/ustroystva_vibroakusticheskoy_zashchity/buran/

39. <https://www.in-sec.ru/stat-i/27-akusticheskaya-utechka-konfidentsial-noj-informatsii-sposoby-protivodejstviya>
40. <https://rupoverka.ru/poverka/vibroakusticheskie-izmereniya/>
41. <https://inner.su/articles/razrabotka-metodov-vibrodiagnostiki-krupnogabaritnykh-opu/>
42. <https://www.dynamics.ru/images/stories/PDF/2017/vibrodiagnosticheskiy-monitoring-oborudovaniya-proizvodstvenno-transportnogo-kompleksa.pdf>
43. <https://cyberleninka.ru/article/n/vibromonitoring-nasosnyh-agregatov-neftepererabatyvayuschih-proizvodstv>
44. <https://habr.com/ru/companies/haulmont/articles/712788/>
45. <https://rzdigital.ru/projects/uslyshat-poezd-cherez-optovolokonnuyu-svyaz/>
46. <https://t8-sensor.ru/tpost/53as17zg2p-tehnologii-vibroakusticheskogo-monitorin>
47. https://detsys.ru/catalog/vibroakusticheskaya_zashchita/kamerton_5/
48. http://www.info-secur.ru/is_14/luk'yanov.pdf
49. https://omgtu.ru/general_information/faculties/radio_engineering_department/departament_quot_radio_devices_and_diagnostic_systems_quot/For_applicants/Naumenko/Костюков В.Н. Науменко А.П. Основы ВАД и мониторинга машин 2020-07-14-29.pdf
50. <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/17802/view>
51. <https://ardexpert.ru/article/28018>
52. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-avtorskogo-metoda-vibroakusticheskogo-massazha-poyuschimi-chashami-na-statokineticheskuyu-ustoychivost>
53. <https://skb-visota.ru/monitoring-tehnicheskogo-sostoyaniya-tehnicheskikh-ustroystv-na-opo/>
54. https://www.vostok.kz/RUS/Dunai/T8_Dunay_2021_web.pdf
55. <https://intechnology.ru/results/cases/vnedrenie-sistemy-monitoringa-v-usloviyah-melkoserijnogo-i-opytного-proizvodstva-rfyac-vniief/>

56. <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-vibroakusticheskoy-diagnostiki-avtomobilnogo-transporta>
57. https://detsys.ru/catalog/dlya-pk-i-noutbukov/impuls_nb/
58. <https://ecotrend-spb.ru/sistema-vibroakusticheskogo-monitoringa-svam/>
59. <https://moluch.ru/archive/85/15647>
60. <https://www.rnt.ru/ru/production/detail.php?ID=7>
61. <https://www.secuteck.ru/articles/vibroakusticheskie-sistemy-dlya-zashchity-perimetra>
62. <https://www.dissercat.com/content/nauchno-metodicheskie-osnovy-vibrodiagnosticheskogo-monitoringa-porshnevykh-mashin-v-realnom>
63. <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-neyronnyh-setey-dlya-analiza-vibratsionnyh-signalov-gornogo-oborudovaniya-i-preduprezhdeniya-avariynyh-situatsiy>
64. https://mining-media.ru/images/2025/02_2025/97-104.pdf
65. <https://habr.com/ru/news/902358/>
66. <https://сдатьяисполнительную.рф/2024/10/04/искусственный-интеллект-для-анализа/>
67. <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-vibrodiagnostiki-ot-sposobov-polucheniya-dannyh-do-ih-obrabotki-sovremennymi-sredstvami>
68. <https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/nauka/izdaniya/trudy/2013/05/183-189.pdf>
69. <https://masters.donntu.ru/2017/fkita/volkov/library/diagnos.pdf>
70. <https://cyberleninka.ru/article/n/diagnostika-iznosa-rezhushchego-instrumenta-na-osnove-fraktalnogo-i-veyvlet-analiza-s-ispol-zlvaniem-iskusstvennogo-intellekta-v-rezhime>
71. <https://apni.ru/article/6010-obzor-metodov-obrabotki-vibrodiagnosticheskik>
72. <https://globalcio.ru/discussion/53472/>
73. <https://kit-e.ru/vibroakusticheskaya-diagnostika/>
74. <https://t8-sensor.ru/tpost/53as17zg2p-tehnologii-vibroakusticheskogo-monitorin>

75. <https://miei.ru/akustika/innovacionnye-metody-izmereniya-vibracij-i-shumovye-vozmozhnosti-i-preimushhestva/>
76. <https://elibrary.ru/item.asp?id=50013604>
77. <https://scientificrussia.ru/articles/pervaya-sistema-iskusstvennogo-intellekta-dlya-beskontaktnogo-monitoringa-serdechnogo-ritma-s-pomoshchyu-umnyh-dinamikov>
78. <https://cyberleninka.ru/article/n/neyroalgoritm-dlya-otsenki-chastoty-vibratsiy-elektrooborudovaniya-pri-distantsionnom-ultrazvukovom-kontrole>
79. <https://www.dissercat.com/content/ispolzovanie-neironno-setevykh-modelei-pri-vibroakusticheskoi-dagnostiki-dvs-na-primere-dia>
80. <https://www.rbc.ru/economics/19/10/2023/65300e6c9a7947a4b7a98be4>
81. <https://involta.media/post/novaya-tehnologiya-s-iskusstvennym-intellektom-budet-izmeryat-uroven-shuma-sosedey>
82. <https://spb.postupi.online/vuz/fakultet-oruzhie-i-sistemy-vooruzheniya-bgtu-voenmeh-im-ustinova/programma-magistr/20039/>
83. <https://www.dissercat.com/content/matematicheskie-modeli-dinamiki-algoritmy-i-informatsionno-izmeritelnye-sredstva-vibroakusti>
84. <https://tekhnosfera.com/matematicheskie-modeli-dinamiki-algoritmy-i-informatsionno-izmeritelnye-sredstva-vibroakusticheskoy-dagnostiki-i-nerazru>
85. <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskie-modeli-vibroakusticheskikh-protssesov>
86. <https://ia.spcras.ru/index.php/sp/article/view/15299>
87. <https://habr.com/ru/articles/483574/>
88. <https://docs.cntd.ru/document/1200142883>
89. https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4634
90. https://www.vestnik-donstu.ru/jour/article/view/1883/0?locale=ru_RU
91. https://www.minin-vestnik.ru/jour/article/view/376?locale=ru_RU

92. [https://www.omgtu.ru/general_information/media_omgtu/journal_of_omsk_research_journal/files/arhiv/2016/АННОТАЦИИ/Аннотации и кл. слова на рус. яз._5\(149\)-1.pdf](https://www.omgtu.ru/general_information/media_omgtu/journal_of_omsk_research_journal/files/arhiv/2016/АННОТАЦИИ/Аннотации и кл. слова на рус. яз._5(149)-1.pdf)
93. <http://vestnik.msun.ru/?page=issues&no=078>
94. https://www.baltech.ru/data/Gosts/GOST_ISO_10816-1-97.pdf
95. <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-protssesa-vibrodiagnostirovaniya-tehnicheskogo-sostoyaniya-gornogo-oborudovaniya>
96. https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?jrnid=mmkz&wshow=contents&viewarchiveID=12&option_lang=rus
97. <https://meganorm.ru/Data/819/81917.pdf>
98. <https://www.dissercat.com/content/matematicheskoe-modelirovanie-i-optimizatsiya-protivoudarnykh-i-vibrozaschitnykh-sistem-v-u>
99. <https://regulhub.kaspersky.ru/upload/uf/d96/86lfhpyvbiulju1rn71khdg3vbfj9tue.pdf>
100. <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-diagnostics-i-vozmozhnosti-vibroakusticheskoy-otsenki-sostoyaniya-aviatsionnoy-tehniki>
101. https://dvm2024.ssau.ru/wp-content/uploads/2024/10/ДВМ2024_Сборник-тезисов_ВЕРСИЯ-НА-САЙТ_281024.-docx.pdf
102. <https://www.vntr.ru/lib/vntr18-VOL8.pdf>
103. <https://www.technoac.ru/catalog/product/komplekt-dlya-vibroakusticheskikh-izmereniy-assistent-total-kombi-02a/>
104. <https://asm-tm.ru/category/katalog-oborudovaniya/lasernye-vibrometry-katalog-oborudovaniya>
105. https://detsys.ru/catalog/vibroakusticheskaya_zashchita/kamerton_5/
106. <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-vozdeystviya-vibratsionnykh-nagruzok-na-konstruktsionnye-materialy-izdeliy-elektronnoy-tehniki/viewer>
107. <https://magazine.neftegaz.ru/articles/tekhnologii/628102-vibratsionnaya-nadezhnost/>

108. <https://docs.cntd.ru/document/1200142883>
109. <https://meganorm.ru/Data/819/81917.pdf>
110. <https://itsec2012.ru/sistemy-vibroakusticheskoy-zashchity-pomeshcheniy>
111. https://detsys.ru/catalog/vibroakusticheskaya_zashchita/kamerton_5/
112. <https://journalpro.ru/articles/povyshenie-effektivnosti-zashchity-informatsii-ot-utechek-informatsii-cherez-okna-po-akusticheskomu-/>
113. <http://www.bnti.ru/showart.asp?aid=800&lvl=04.03.01.01>.
114. <https://repo.ssau.ru/bitstream/Uchebnye-izdaniya/Akusticheskie-i-vibroakusticheskie-kanaly-utechki-informacii-Teoreticheskie-osnovy-i-bazovyi-praktikum-92539/1/Бурлаков М.Е. Акустические и виброакустические каналы 2021.pdf>
115. <https://tsi-auto.ru/news/kak-sdelat-shumoizolyatsiyu-servernogo-shkafa-ili-majning-fermy>
116. <https://sysmatrix.ru/news/sysmatrix-seismic/>
117. <https://www.strojpolimer.ru/product/liplent-zi>
118. <https://studfile.net/preview/383173/page:4/>
119. https://www.acoustic-comfort.ru/ref_book/albom_solutions/vibro_albom/zdaniya/
120. <http://kaf43.mephi.ru/wp-content/uploads/2016/02/UMR-po-AVAK-2015.pdf>
121. http://storage.mstuca.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/2679/Лабораторные_работы_1-5_по_дисциплине_Технические_средства_и_методы_защиты_информации.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ПРИЛОЖЕНИЯ

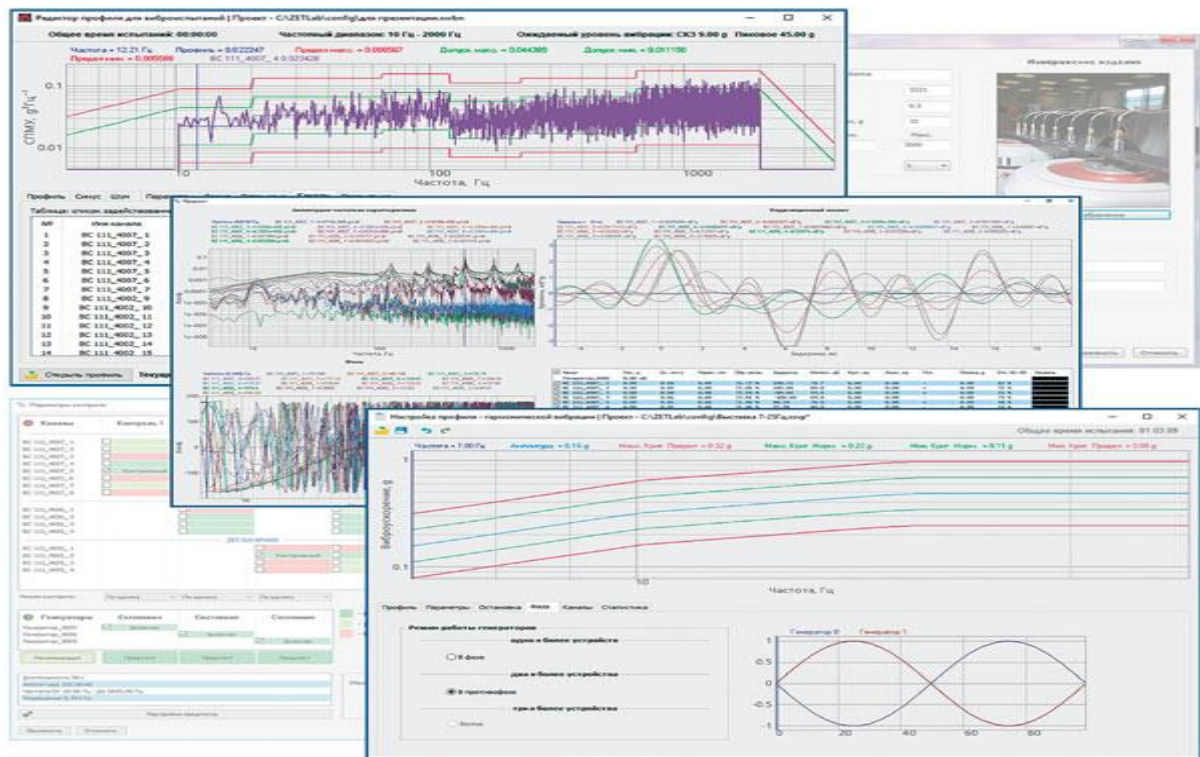


Рис. 1. ПО ZETLAB VIBRO: примеры интерфейса <https://isup.ru/articles/65/16597>



Рис. 2 Пример комплекса системы вибро-акустической защиты.
<http://npoanna.ru/Content.aspx?name=recommendations.placement>



Рис 3. Шумоизоляция серверного шкафа <https://tsi-auto.ru/news/kak-sdelat-shumoizolyatsiyu-servernogo-shkafa-ili-majning-fermy>

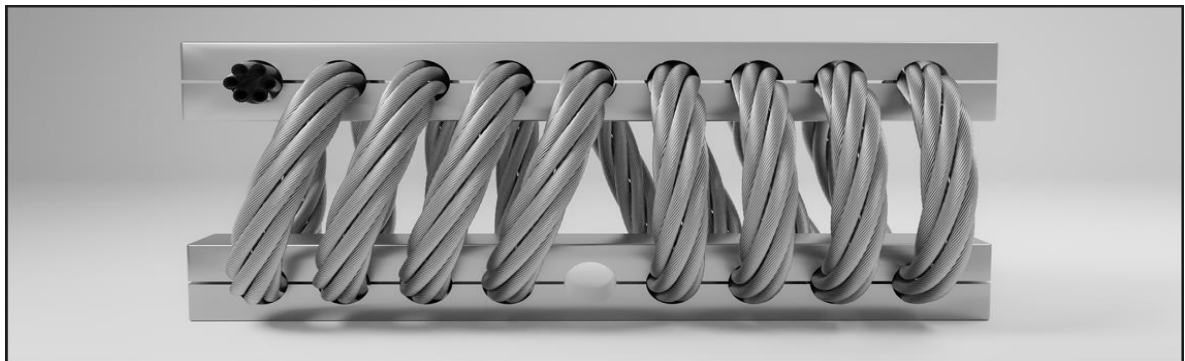


Рис. 4 SYSMATRIX SEISMIC - демпфирующим элемент
<https://sysmatrix.ru/news/sysmatrix-seismic>



Рис. 4 SYSMATRIX SEISMIC - демпфирующим элемент
<https://sysmatrix.ru/news/sysmatrix-seismic>