

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАДЖАНА
ИНСТИТУТ КИБЕРНЕТИКИ им. акад. А.И. ГУСЕЙНОВА**

На правах рукописи

ЭЛЬЧИН РАШИД оглы АЛИЕВ

**РОБАСТНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ NOISE-
МОНИТОРИНГА СКРЫТОГО ПЕРИОДА ИЗМЕНЕНИЯ
СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**

3338.01 – Системный анализ, управление и обработка информации

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук

Баку-2013

Работа выполнена в Институте Кибернетики им. акад. А.И.Гусейнова
Национальной Академии Наук Азербайджана

Научный консультант:

академик НАН Азербайджана,
доктор технических наук, профессор

Т.А. АЛИЕВ

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
доктор технических наук, профессор
доктор технических наук

А.А. Алиев
С. И. Юсифов
И.М. Алиев

Ведущая организация:

Кафедра «Электромеханика» Сумгаитского Государственного
Университета

Защита состоится 25 октября 2013 года в 14.00 часов на заседании
диссертационного совета D 01.121 при Институте Кибернетики им.
акад. А.И.Гусейнова НАН Азербайджана по адресу: AZ1141, г. Баку,
ул. Б.Вахабзаде, 9.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института Кибер-
нетики им. акад. А.И. Гусейнова.

Автореферат разослан 20 сентября 2013 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,
доктор философии по математике

А.Б. Пашаев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Известно, что в целом, территория Азербайджана является одной из самых активных зон на Кавказе. В сейсмоактивных зонах Азербайджана, которыми являются Апшеронский полуостров, Шемаха-Исмаиллинская и Мингечевир-Шамкирская зоны, помимо сильных землетрясений, всегда происходят слабые толчки. Поэтому во время строительства в этих зонах высотных зданий и других строительных сооружений должны учитываться сейсмическая активность и нормы строительства, а также создаваться системы мониторинга сейсмостойкости и технического состояния как для строящихся, так и существующих строительных объектов.

На сегодняшний день существует множество методов, технологий и систем анализа и мониторинга сейсмостойкости. Сюда входят методы анализа сейсмических колебаний и их регистрации; способы обработки сейсмограмм и магнитограмм; определение деформаций высотных зданий с помощью GPS ([Global Positioning System](#)); методы решения задачи геодезического мониторинга высотных зданий и сооружений методом спутниковой геодезии; методы мониторинга деформационного поведения зданий, попадающих в зону влияния нового строительства; методы мониторинга технического состояния несущих конструкций высотных зданий и широкопролетных сооружений; способы применения мобильных диагностических комплексов для оценки прочности, устойчивости и остаточного ресурса зданий и сооружений и др.

Анализ вышеперечисленных решений, методов, алгоритмов, технологий, технических средств и систем наглядно показывает огромную значимость проблемы обеспечения безопасности строительных объектов и сооружений. Благодаря этим работам, мероприятиям, конструкциям, технологиям и т.д. в настоящее время обеспечивается безопасность проживания населения в крупных мегаполисах современных высокоразвитых промышленных стран. На сегодняшний день обеспечение гарантированной безопасности имеют те строительные сооружения, которые обеспечены автономной системой контроля сейсмостойкости и технического состояния. Те здания и строительные сооружения, у которых сейсмостойкость и техническое состояние контролируется эпизодически по мере возникновения необходимости, не имеют гарантированного обеспечения безопасности. Как правило, для таких объектов в результате планового контроля технического состоя-

ния принимается решение об использовании мобильной системы для мониторинга изменения их сейсмостойкости.

Однако для городов, расположенных в странах с активными сейсмическими процессами, контролировать состояние сейсмостойкости нескольких тысяч социально значимых и стратегических объектов практически невозможно, так как каждый такой контроль с применением мобильных средств выполняется в течение нескольких дней. В то же время в сейсмоактивных регионах, как правило, каждый год происходит несколько маломощных (слабых) землетрясений до 3 баллов. На первый взгляд они кажутся безобидными. На самом же деле, на те здания, которые обладают высокой степенью запаса сейсмостойкости, эти землетрясения никакого влияния не оказывают. В то же время для зданий с недостаточным запасом сейсмостойкости после каждого такого землетрясения есть вероятность изменения состояния в худшую сторону. Среди нескольких тысяч социально значимых и стратегических объектов после каждого слабого землетрясения в силу указанных причин возникает необходимость выявить те здания, у которых произошло изменение состояния сейсмостойкости.

В связи с вышеуказанным, несмотря на достаточное множество перечисленных методов, способов, алгоритмов, технологий, технических средств и систем, они не в состоянии обеспечить решение указанной задачи после каждого маломощного землетрясения. При этом очень важно учесть, что в зданиях после землетрясения происходит изменение сейсмостойкости в скрытом виде. Это очень важная специфическая особенность высотных зданий и социально значимых строительных объектов. Когда изменение сейсмостойкости имеет явно выраженную форму, то с применением мобильных систем на основе анализа существующих методов анализа сигналов, получаемых от датчиков мобильной аппаратуры, удастся выявить объекты с измененной сейсмостойкостью. Когда же изменение сейсмостойкости имеет скрытый характер, осуществить мониторинг изменения сейсмостойкости строительных объектов с применением традиционных технологий при помощи мобильной аппаратуры оказывается очень трудно. Причем, если даже для каждого здания применять отдельные системы, то все равно не будет уверенности в успешном решении проблемы мониторинга сейсмостойкости в большом количестве строительных объектов. Поэтому тема диссертационной работы, посвященная разработке робастных распределенных систем помехомониторинга скрытого перио-

да изменения технического состояния высотных зданий и стратегических объектов городов, расположенных в сейсмоактивных регионах, является актуальной.

Цель и задачи работы. Цель работы заключается в разработке робастных распределенных систем помехомониторинга скрытого периода изменения сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий и стратегических объектов городов, расположенных в сейсмоактивных регионах. В соответствии с вышеуказанной целью в диссертации поставлены и решены следующие задачи:

- анализ методов определения сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах;
- анализ причин и трудностей обеспечения адекватности результатов мониторинга сейсмостойкости высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах;
- разработка алгоритмов робастного мониторинга начала скрытого периода изменения сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах с использованием характеристик помехи;
- разработка технологии экспериментального исследования и проведение вычислительных экспериментов для определения скрытого периода изменения сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах;
- разработка системы помехоконтроля и помехомониторинга начала изменения сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах;
- разработка автономной информационной системы технического мониторинга жилых зданий и социально значимых объектов.

Методы исследования. При решении поставленных в диссертации задач использованы: теория вероятностей и методы математической статистики, теория случайных процессов, теория анализа сигналов, методы корреляционного и спектрального анализов, методы идентификации статики и динамики технологических процессов, методы математического моделирования, основные принципы построения систем мониторинга. В целях проверки достоверности полученных результатов проводились вычислительные эксперименты на РС с

использованием пакета прикладных программ MatLab.

Научная новизна. В работе получены следующие основные результаты, обладающие научной новизной:

- алгоритмы мониторинга начала скрытого периода изменения сейсмостойкости технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах с использованием характеристик помехи;
- алгоритмы корреляционного мониторинга начала скрытого периода изменения сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах;
- алгоритмы спектрального мониторинга начала скрытого периода изменения сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах;
- алгоритмы улучшения обусловленности корреляционных матриц при решении задач идентификации статики высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах;
- алгоритмы улучшения обусловленности корреляционных матриц при решении задач идентификации динамики высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах;
- алгоритмы мониторинга начала скрытого периода изменения сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах с помощью множеств информативных признаков;
- адаптивная аппаратно-программная технология дискретизации зашумленных сигналов в системах мониторинга начала скрытого периода изменения сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов;
- цифровая система испытания и контроля качества строительных работ в сейсмоактивных регионах;
- локальная система помехомониторинга начала изменения сейсмостойкости и технического состояния строительных сооружений;
- интеллектуальная система помехомониторинга сейсмостойкости и технического состояния объектов и сигнализации начала аномальных сейсмопроцессов;
- общегородская робастная распределенная система помехомониторинга сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий;
- распределенная система noise-мониторинга (помехомониторинга)

микроизменений сейсмостойкости и технического состояния социально-значимых объектов в сейсмоактивных регионах;

- методы передачи данных в распределенных системах помехомониторинга сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах;
- принципы безопасности передачи данных в распределенных информационных системах помехомониторинга сейсмостойкости и технического состояния строительных объектов.
- автономная информационная система технического мониторинга жилых зданий и социально значимых объектов.

Практическая значимость и реализация результатов работы. Основные результаты, полученные автором, были признаны Президиумом и отделением физико-математических и технических наук НАНА как важнейшие и включены в отчет за 2001-2012 годы.

Разработанные в диссертации технологии и распределенная система noise-мониторинга микроизменений сейсмостойкости и технического состояния социально-значимых объектов и высотных зданий в сейсмоактивных регионах в 2008-2009, 2012 гг. представлены в Кабинет Министров Азербайджанской Республики, откуда переданы в Министерство чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны и Министерство экономического развития, где получили положительную оценку, рекомендованы для проведения соответствующей экспериментальной работы с целью дальнейшего использования.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы обсуждены на следующих конференциях:

- Пятый Международный симпозиум “Интеллектуальные системы. INTELS '2002” 14-16.
- 3-rd International Conference on Information Technologies & Telecommunication, (IT & TC-2007) Ganja, Azerbaijan, October 4-6, 2007,
- IV Beynəlxalq simpozium “Fövqəladə hallarda təhlükəsizliyin idarə olunması”, 15-16 noyabr, Bakı, 2007,
- Natural Cataclysms and Global Problems of the modern civilization. Special edition of Transactions of the International Academy of Science H & E, Baku-Innsbruck-2007,
- İnformasiya-kommunikasiya texnologiyaları və elektron təhsillin aktual problemləri. Elektron idarəetmə. Elmi-praktik konfransın materialları, 29-30 noyabr, Gəncə, 2007,
- IV Beynəlxalq simpozium “Fövqəladə hallarda təhlükəsizliyin

idarə olunması” 15-16 noyabr, Bakı, 2007-ci il,

– Proceedings of the 2007 Industrial Engineering Research Conference G.Bayraksan. W.Lin. Y. Son. And R.Wysk.ed., pp.682-687 (Critical Role in a Flat World IIE Annual Conference & Expo 2007, may 19-23, Nashville, Tenn.)

– Natural cataclysms and Global problems of the modern civilization. Special edition of Transactions of the International Academy of Science H & E, Baku-Innsbruck-2007,

– VIII Международный Симпозиум “Интеллектуальные системы” (INTELS,2008), 30.06-04.07.2008, Москва,

– The second International Conference “Problems of cybernetics and Informatics”. September 10-12, 2008, Baku, Azerbaijan, Section №3, “Modeling and Identification”,

– The second international conference “Problems of cybernetics and informatics”, September 10-12, Baku 2008,

– International conference on e-Government and e-Governance “ICEGOV”, 12-13 March, 2009, Ankara-Turkey,

– Десятый международный симпозиум «Интеллектуальные системы». Россия, Вологда, Вологодский государственный технический университет. 25-29 июня 2012 г.

– III международная конференция “Проблемы кибернетики и информатики” (PCI’2012) 6-8 сентября 2012 г., Баку, Азербайджан.

– IV международная конференция “Проблемы кибернетики и информатики” (PCI’2012) 12-14 сентября 2012 г., Баку, Азербайджан.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 52 научные работы; из них: статей - 32, в издательствах, рекомендованных ВАК – 32 (в том числе в зарубежных издательствах - 19 (США – 4, Германия – 6, Москва – 5, Украина – 1, Латвия (Рига) – 3), без соавторов – 5, обобщающих – 2); монография – 1; материалы конференции – 17, (в том числе в объеме статьи - 17), (из зарубежом - 5) (США, Nashville – 1 (пленарный доклад); Россия – 3, из них пленарный доклад - VIII Международный симпозиум “Интеллектуальные системы” INTELS,2008, г.Новгород; Турция - 1); Евразийский патент – 2.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы, содержащего 218 наименований. Основная часть работы изложена на 385 страницах, содержит 23 таблиц и 32 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность проводимых исследований, сформулированы цели и основные задачи, методы исследования, научная новизна и практическая ценность работы. Даны сведения о публикациях, апробации и структуре диссертации.

В первой главе приведены методы определения сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах. Рассмотрены особенности сейсмического состояния Азербайджана и Апшеронского полуострова. Описаны существующие методы анализа сейсмических колебаний, сейсмических волн, их регистрации, обработки сейсмограмм и магнитограмм. Описаны существующие методы определения сейсмостойкости зданий и сооружений, проектирования и эксплуатации схем мониторинга конструкций и высотных зданий, технического состояния высотных зданий и строительных сооружений. Сформулирована постановка задачи.

Во второй главе описаны основные причины и трудности обеспечения адекватности результатов мониторинга сейсмостойкости высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах.

Рассмотрены трудности, с которыми сталкиваются при корреляционном мониторинге сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, жилых комплексов, туннелей метро, путепроводов, мостов, плотин, дамб и иных строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах.

Известно, что при нормальном техническом состоянии высотного здания автокорреляционная функция этого сигнала $X(t)$, поступающего от датчиков, установленных в различных элементах конструкций здания, в пилонах и стенах, в колоннах и стенах стилобата, на крыше, на фундаментной плите, в грунтовой массе под зданием, на арматуре перед заливкой бетона и т.д., определяется по выражению:

$$R_{X X}^{\circ}(\mu) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \dot{X}(i\Delta t) \dot{X}((i + \mu)\Delta t), \quad (1)$$

где $\dot{X}(t) = X(t) - m_x$; m_x - математическое ожидание $X(t)$.

В результате трещинообразования, деформаций, колебаний, наклонов, прогибов и кренов строительных конструкций; неравномерной и абсолютной осадки оснований зданий и сооружений и других повреждений, которым подвергаются строительные сооружения в результате воздействия ветра, сейсмических, вибрационных и других природно-техногенных нагрузок, на полезный сигнал $X(t)$ налагается помеха $\varepsilon(t)$: $g(t) = X(t) + \varepsilon(t)$. Тогда

$$R_{gg}(\mu) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g(i\Delta t) g((i + \mu)\Delta t). \quad (2)$$

При отсутствии корреляции между полезным сигналом и помехой

$$R_{x\varepsilon}(\mu) \approx 0, R_{\varepsilon x}(\mu) \approx 0 \quad (3)$$

и выполнении условия $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varepsilon(i\Delta t) \varepsilon((i + \mu)\Delta t) \approx 0$ при $\mu \neq 0$ формула

(2) при $\mu = 0$ и $\mu \neq 0$ приобретает вид:

$$R_{gg}(\mu = 0) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g(i\Delta t) g(i\Delta t) = R_{xx}(\mu = 0) + R_{\varepsilon\varepsilon}(\mu = 0) = D(x) + D(\varepsilon) = D(g), \quad (4)$$

$$R_{gg}(\mu \neq 0) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g(i\Delta t) g((i + \mu)\Delta t) = R_{xx}(\mu \neq 0), \quad (5)$$

где величина дисперсии помехи $D(\varepsilon) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varepsilon(i\Delta t) \varepsilon(i\Delta t)$, (6)

величина дисперсии полезного сигнала $D(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X(i\Delta t) X(i\Delta t)$. (7)

Аналогично формула для вычисления оценок взаимно корреляционных функций $R_{g_1 g_2}(\mu)$ зашумленных сигналов $g_1(t)$, $g_2(t)$, состоящих из смеси случайных полезных сигналов $X_1(t)$, $X_2(t)$ и помех $\varepsilon_1(t)$, $\varepsilon_2(t)$ имеет вид:

$$R_{g_1 g_2}^{\circ}(\mu) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g_1^{\circ}(i\Delta t) g_2^{\circ}((i + \mu)\Delta t). \quad (8)$$

При выполнении условий некоррелированности

$$R_{X_1 \varepsilon_2}^{\circ}(\mu) \approx 0, R_{\varepsilon_1 X_2}^{\circ}(\mu) \approx 0, R_{\varepsilon_1 \varepsilon_2}^{\circ}(\mu) \approx 0 \quad (9)$$

формула (8) приобретает вид:

$$R_{g_1 g_2}^{\circ}(\mu) \approx R_{X_1 X_2}^{\circ}(\mu). \quad (10)$$

Следовательно, для повышения надежности и достоверности результатов корреляционного мониторинга необходимо выявить величину дисперсии помехи $D(\varepsilon)$ в оценках автокорреляционных функций, вычислить их робастные оценки $R_{g g}^R(\mu)$ и добиться выполнения

равенства:

$$R_{g g}^R(\mu) \approx R_{X X}^{\circ}(\mu). \quad (11)$$

Рассмотрены трудности спектрального мониторинга сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах. Известно, что разложение в тригонометрический ряд Фурье полезного сигнала $X(t)$, поступающего от соответствующего датчика в момент, когда строительный объект находится в нормальном состоянии, проводится по формуле:

$$X(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t), \quad (12)$$

где коэффициенты ряда Фурье

$$a_0 = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \dot{X}(i\Delta t), \quad a_n = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \dot{X}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t),$$

$$b_n = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \dot{X}(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t), \quad (13)$$

$\omega = 2\pi/T$, T – длина интервала, на котором задан сигнал $X(t)$.

При наличии помехи $\varepsilon(t)$ формула вычисления оценок коэффициентов a_n , b_n разложения в ряд Фурье имеет вид:

$$a_n^* = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t) = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \left[\overset{\circ}{X}(i\Delta t) + \overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t) \right] \cos n\omega(i\Delta t) = a_n + \lambda_{a_n},$$

(14)

$$b_n^* = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t) = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \left[\overset{\circ}{X}(i\Delta t) + \overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t) \right] \sin n\omega(i\Delta t) = b_n + \lambda_{b_n},$$

(15)

где величины погрешностей λ_{a_n} , λ_{b_n} оценок коэффициентов ряда Фурье определяются по выражениям:

$$\lambda_{a_n} = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t), \quad \lambda_{b_n} = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t). \quad (16)$$

Поэтому для повышения достоверности спектрального мониторинга необходимо вычислить такие робастные оценки a_n^R , b_n^R коэффициентов ряда Фурье зашумленных сигналов $g(t)$, чтобы они максимально приближались к оценкам коэффициентов a_n , b_n ряда Фурье полезных сигналов $X(t)$, т.е. обеспечить выполнение равенства:

$$a_n^R \approx a_n, \quad b_n^R \approx b_n. \quad (17)$$

Рассмотрены причины плохой обусловленности корреляционных матриц при решении задач идентификации статики высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах. Показано, что решение задачи идентификации статики вероятностно-статистическими методами сводится к численному решению матричных корреляционных уравнений

$$\bar{R}_{XX}^{\circ \circ}(0) \cdot \bar{C} = \bar{R}_{XY}^{\circ \circ}(0), \quad (18)$$

где $\bar{R}_{XX}^{\circ \circ}(0) = \begin{bmatrix} R_{X_1 X_1}^{\circ \circ}(0) & R_{X_1 X_2}^{\circ \circ}(0) & \dots & R_{X_1 X_n}^{\circ \circ}(0) \\ R_{X_2 X_1}^{\circ \circ}(0) & R_{X_2 X_2}^{\circ \circ}(0) & \dots & R_{X_2 X_n}^{\circ \circ}(0) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{X_n X_1}^{\circ \circ}(0) & R_{X_n X_2}^{\circ \circ}(0) & \dots & R_{X_n X_n}^{\circ \circ}(0) \end{bmatrix}, \quad (19)$

$$\bar{R}_{X\dot{Y}}(0) = \begin{bmatrix} R_{X_1\dot{Y}}(0) & R_{X_2\dot{Y}}(0) & \dots & R_{X_n\dot{Y}}(0) \end{bmatrix}^T, \quad i, j = \overline{1, n}$$

$$\bar{C} = [c_1 \quad c_2 \quad \dots \quad c_n]^T,$$

\bar{C} – вектор столбец коэффициентов.

При наличии помехи матричное корреляционное уравнение (18) с учетом выражений (4), (5), (10) приобретает вид:

$$\bar{R}_{g\dot{g}}(0) \cdot \bar{C}^* = \bar{R}_{g\dot{\eta}}(0), \quad (20)$$

где

$$\bar{R}_{g\dot{g}}(0) = \begin{bmatrix} R_{X_1 X_1}(0) + D(\varepsilon_1) & R_{X_1 X_2}(0) & \dots & R_{X_1 X_n}(0) \\ R_{X_2 X_1}(0) & R_{X_2 X_2}(0) + D(\varepsilon_2) & \dots & R_{X_2 X_n}(0) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{X_n X_1}(0) & R_{X_n X_2}(0) & \dots & R_{X_n X_n}(0) + D(\varepsilon_n) \end{bmatrix}, \quad (21)$$

$$\bar{R}_{g\dot{\eta}}(0) \approx \begin{bmatrix} R_{X_1 \dot{Y}}(0) & R_{X_2 \dot{Y}}(0) & \dots & R_{X_n \dot{Y}}(0) \end{bmatrix}^T, \quad i, j = \overline{1, n}$$

Поэтому возникает необходимость решения проблемы исключения влияния дисперсий $D(\varepsilon_i)$ помех $\varepsilon_i(i\Delta t)$ и получения робастных корреляционных матриц $\bar{R}_{X\dot{X}}^R(0)$, совпадающих с корреляционными матрицами $\bar{R}_{X\dot{X}}(0)$ полезных сигналов, то есть добиться выполнения условия:

$$\bar{R}_{X\dot{X}}^R(0) \approx \bar{R}_{X\dot{X}}(0). \quad (22)$$

Рассмотрены причины плохой обусловленности корреляционных матриц при решении задач идентификации динамики высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах. Показано, что при отсутствии помех решение задачи статистической динамики строительного объекта может быть сведено к решению системы уравнений, которая в матричной форме имеет вид:

$$\bar{R}_{XY}(\mu) = \bar{R}_{XX}(\mu) \bar{W}(\mu), \quad \mu = 0, \Delta t, 2\Delta t, \dots, (N-1)\Delta t, \quad (23)$$

$$\text{где } \bar{R}_{XX}(\mu) = \begin{pmatrix} R_{XX}(0) & R_{XX}(\Delta t) & \dots & R_{XX}[(N-1)\Delta t] \\ R_{XX}(\Delta t) & R_{XX}(0) & \dots & R_{XX}[(N-2)\Delta t] \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{XX}[(N-1)\Delta t] & R_{XX}[(N-2)\Delta t] & \dots & R_{XX}(0) \end{pmatrix}, \quad (24)$$

$$\bar{R}_{XY}(\mu) = \begin{bmatrix} R_{XY}(0) & R_{XY}(\Delta t) & \dots & R_{XY}[(N-1)\Delta t] \end{bmatrix}^T, \quad (25)$$

$$\bar{W}(\mu) = [W(0) \quad W(\Delta t) \quad \dots \quad W((N-1)\Delta t)]^T, \quad (26)$$

$\bar{W}(\mu)$ - вектор-столбец импульсных переходных функций.

При наличии помехи корреляционные матрицы (24), (26) преобразовываются следующим образом:

$$\bar{R}_{gg}(\mu) \approx \begin{pmatrix} R_{XX}(0) + D(\varepsilon) & R_{XX}(\Delta t) & \dots & R_{XX}[(N-1)\Delta t] \\ R_{XX}(\Delta t) & R_{XX}(0) + D(\varepsilon) & \dots & R_{XX}[(N-2)\Delta t] \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{XX}[(N-1)\Delta t] & R_{XX}[(N-2)\Delta t] & \dots & R_{XX}(0) + D(\varepsilon) \end{pmatrix}, \quad (27)$$

$$\bar{R}_{g\eta}(\mu) \approx \begin{bmatrix} R_{XY}(0) & R_{XY}(\Delta t) & \dots & R_{XY}[(N-1)\Delta t] \end{bmatrix}^T, \quad (28)$$

В этом случае также необходимо исключить влияния дисперсии $D(\varepsilon)$ помехи $\varepsilon(t)$ и получить робастную корреляционную матрицу $\bar{R}_{XX}^R(\mu)$, совпадающую с корреляционной матрицей $\bar{R}_{XX}(\mu)$ полезных сигналов, то есть добиться выполнения условия:

$$\bar{R}_{XX}^R(\mu) \approx \bar{R}_{XX}(\mu). \quad (29)$$

Рассмотрены трудности мониторинга сейсмостойкости и технического состояния строительных объектов в сейсмоактивных регионах с помощью множеств информативных признаков.

Показано, что процесс прогнозирования в общем случае можно представить как совокупность трех составляющих: 1) эталонного множества Z , сформированного по оценкам статистических характеристик, авто и взаимно корреляционных функций, спектральных характеристик, статических и динамических характеристик, соответствующих каждому i -му состоянию из всех k возможных состояний строительного сооружения; 2) множества V , сформированного из текущих аналогичных информативных признаков, доставляющих информацию о текущем состоянии; 3) правила идентификации F , сопоставляющего каждый элемент множества Z с элементом множества V и, наоборот, каждый элемент множества V с элементом множества Z . Совокупность элементов Z и V образует информационное обеспечение подсистемы прогнозирования. Однако в большинстве случаев от датчиков измерения вибраций, колебаний, наклонов, прогибов, кренов и т.д. поступают зашумленные сигналы $g_i(t)$. Тогда вместо множества Z_X получают множество Z_g , элементы которого содержат погрешности от помех.

Поэтому для достоверного прогнозирования технического состояния высотного здания или строительного сооружения на ранних стадиях появления неисправностей необходимо обеспечить робастность элементов матриц Z_g и V_{g_i} , получить робастные множества

$Z_X^R, V_{X_i}^R$, для которых:

$$Z_X^R \approx Z_X, \quad V_{X_i}^R \approx V_{X_i}. \quad (30)$$

Это возможно в том случае, когда для элементов множеств $Z_X^R, V_{X_i}^R$ выполняются равенства:

$$D^*(\varepsilon_i) \approx D(\varepsilon_i), \quad R_{X_i X_j}^R(\mu) \approx R_{X_i X_j}(\mu), \quad a_{ij}^R \approx a_{ij}, \quad b_{ij}^R \approx b_{ij}, \quad c_{ij}^R \approx c_{ij},$$

$$W_{ij}^R(\mu) \approx W_{ij}(\mu), \quad (31)$$

где $D^*(\varepsilon_i)$ – вычисленная величина дисперсии помехи $\varepsilon_i(t)$,

$$Z_X^R = \begin{bmatrix}
D^*(\varepsilon_1) & D^*(\varepsilon_2) & \dots & D^*(\varepsilon_n) \\
R_{X_1 X_1}^R(\mu) & R_{X_1 X_2}^R(\mu) & \dots & R_{X_1 X_n}^R(\mu) \\
R_{X_2 X_1}^R(\mu) & R_{X_2 X_2}^R(\mu) & \dots & R_{X_2 X_n}^R(\mu) \\
\dots & \dots & \dots & \dots \\
R_{X_n X_1}^R(\mu) & R_{X_n X_2}^R(\mu) & \dots & R_{X_n X_n}^R(\mu) \\
a_{11}^R & a_{12}^R & \dots & a_{1n}^R \\
b_{11}^R & b_{12}^R & \dots & b_{1n}^R \\
a_{21}^R & a_{22}^R & \dots & a_{2n}^R \\
b_{21}^R & b_{22}^R & \dots & b_{2n}^R \\
\dots & \dots & \dots & \dots \\
a_{k1}^R & a_{k2}^R & \dots & a_{kn}^R \\
b_{k1}^R & b_{k2}^R & \dots & b_{kn}^R \\
c_{11}^R & c_{12}^R & \dots & c_{1n}^R \\
c_{12}^R & c_{22}^R & \dots & c_{2n}^R \\
\dots & \dots & \dots & \dots \\
c_{m1}^R & c_{m2}^R & \dots & c_{mn}^R \\
W_{11}^R(\mu) & W_{12}^R(\mu) & \dots & W_{1n}^R(\mu) \\
W_{21}^R(\mu) & W_{22}^R(\mu) & \dots & W_{2n}^R(\mu) \\
\dots & \dots & \dots & \dots \\
W_{m1}^R(\mu) & W_{m2}^R(\mu) & \dots & W_{mn}^R(\mu) \\
\dots & \dots & \dots & \dots
\end{bmatrix} \quad (32)$$

В третьей главе разработаны алгоритмы мониторинга начала скрытого периода изменения сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах.

Показано, что от влияния помех в корреляционных и спектральных оценках появляются погрешности в виде дисперсии помехи $D(\varepsilon)$. В традиционных технологиях используется метод исключения

или фильтрации различных помех. В работе предлагается алгоритм вычисления дисперсии помехи суммарного сигнала $g(t)$:

$$D^*(\varepsilon) \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[g(i\Delta t)g(i\Delta t) + g(i\Delta t)g((i+2)\Delta t) - 2g(i\Delta t)g((i+1)\Delta t) \right]. \quad (33)$$

или

$$D^*(\varepsilon) \approx R_{gg}(\mu=0 \cdot \Delta t) + R_{gg}(\mu=2 \cdot \Delta t) - 2R_{gg}(\mu=1 \cdot \Delta t). \quad (34)$$

Разработаны алгоритмы корреляционного мониторинга начала скрытого периода изменения сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах. Предложен алгоритм вычисления робастной оценки авто корреляционной функции $R_{gg}^R(\mu)$:

$$R_{gg}^R(\mu=0) = R_{gg}(\mu=0) - D^*(\varepsilon), \quad (35)$$

который позволяет обеспечить выполнение равенства (29).

Разработаны алгоритмы спектрального мониторинга начала скрытого периода изменения сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах, которые сводятся к вычислению робастных коэффициентов a_n^R , b_n^R разложения в ряд Фурье:

$$\begin{aligned} a_n^R &= \frac{2}{N} \left\{ \sum_{i=1}^N [g(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t) - \lambda_a^R] \right\}, \\ b_n^R &= \frac{2}{N} \left\{ \sum_{i=1}^N [g(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t) - \lambda_b^R] \right\}, \end{aligned} \quad (36)$$

где величина робастности $\lambda_{a_n}^R$ определяется по формулам:

$$\begin{aligned} \lambda_{a_n}^R &= \frac{1}{4} |N_{a_n}^+ - N_{a_n}^-| A(i\Delta t) \text{ при } N^+ \neq N^- \text{ и } P^+ = P^-, \\ \lambda_{a_n}^R &= \frac{1}{4} (N_{a_n}^+ - N_{a_n}^-) A^+(i\Delta t) - \frac{1}{2} [N - (N_{a_n}^+ - N_{a_n}^-)] [A^+(i\Delta t) - A^-(i\Delta t)] \text{ при} \\ &N^+ > N^- \text{ и } P^+ \neq P^- \end{aligned}$$

$$\lambda_{a_n}^R = \frac{1}{4}(N_{a_n}^- - N_{a_n}^+)A(i\Delta t) - \frac{1}{2}[N - (N_{a_n}^- - N_{a_n}^+)] [A^+(i\Delta t) - A^-(i\Delta t)] \quad \text{при}$$

$$N^+ < N^- \text{ и } \Pi^+ \neq \Pi^-$$

$$\lambda_{a_n}^R = \frac{1}{2}N[A^+(i\Delta t) - A^-(i\Delta t)] \text{ при } N^+ = N^- \text{ и } \Pi^+ \neq \Pi^-,$$

$$\text{где } A(i\Delta t) = \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}, \quad A^+(i\Delta t) = \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}^+,$$

$$A^-(i\Delta t) = \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}^-, \quad \Pi^+ = \overline{g(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}^+,$$

$$\Pi^- = \overline{g(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}^-,$$

$$\overline{\lambda_{rel}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [g(i\Delta t)g(i\Delta t) + g(i\Delta t)g((i+2)\Delta t) - 2g(i\Delta t)g((i+1)\Delta t)]}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g^2(i\Delta t)}} = \frac{D^*(\varepsilon)}{D(g)}$$

величина робастности $\lambda_{b_n}^R$ определяется по формулам:

$$\lambda_{b_n}^R = \frac{1}{4}|N_{b_n}^+ - N_{b_n}^-|B(i\Delta t) \text{ при } N^+ \neq N^- \text{ и } \Pi^+ = \Pi^-,$$

$$\lambda_{b_n}^R = \frac{1}{4}(N_{b_n}^+ - N_{b_n}^-)B^+(i\Delta t) - \frac{1}{2}[N - (N_{b_n}^+ - N_{b_n}^-)] [B^+(i\Delta t) - B^-(i\Delta t)]$$

при $N^+ > N^-$ и $\Pi^+ \neq \Pi^-$

$$\lambda_{b_n}^R = \frac{1}{4}(N_{b_n}^- - N_{b_n}^+)B(i\Delta t) - \frac{1}{2}[N - (N_{b_n}^- - N_{b_n}^+)] [B^+(i\Delta t) - B^-(i\Delta t)]$$

при $N^+ < N^-$ и $\Pi^+ \neq \Pi^-$

$$\lambda_{b_n}^R = \frac{1}{2}N[B^+(i\Delta t) - B^-(i\Delta t)] \text{ при } N^+ = N^- \text{ и } \Pi^+ \neq \Pi^-$$

$$\text{где } B(i\Delta t) = \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t)}, \quad B^+(i\Delta t) = \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t)}^+,$$

$$B^-(i\Delta t) = \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t)}^-, \quad \Pi^+ = \overline{g(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t)}^+,$$

$$P^- = \overline{g(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t)} .$$

Разработаны алгоритмы улучшения обусловленности корреляционных матриц при решении задач идентификации статики высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах, которые сводятся к исключению влияния дисперсий $D(\varepsilon_i)$ помех $\varepsilon_i(t)$ из оценок корреляционных функций по выражению (35) и получению робастных корреляционных матриц $\bar{R}_{g g}^R(0)$, совпадающих с корреляционными матрицами $\bar{R}_{X X}^R(0)$ полезных сигналов:

$$\bar{R}_{X X}^R(0) = \begin{bmatrix} R_{g_1 g_1}^{\circ}(0) - D^*(\varepsilon_1) & R_{g_1 g_2}^{\circ}(0) & \dots & R_{g_1 g_n}^{\circ}(0) \\ R_{g_2 g_1}^{\circ}(0) & R_{g_2 g_2}^{\circ}(0) - D^*(\varepsilon_2) & \dots & R_{g_2 g_n}^{\circ}(0) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{g_n g_1}^{\circ}(0) & R_{g_n g_2}^{\circ}(0) & \dots & R_{g_n g_n}^{\circ}(0) - D^*(\varepsilon_i) \end{bmatrix} \approx \bar{R}_{X X}^R(0). \quad (37)$$

Таким образом, выполняется условия (22). Это позволяет обеспечить адекватность идентификации статики при мониторинге сейсмостойкости и технического состояния высотного здания и строительного сооружения.

Разработаны алгоритмы улучшения обусловленности корреляционных матриц при решении задач идентификации динамики высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах, которые сводятся к исключению влияния дисперсии $D(\varepsilon)$ помехи $\varepsilon(t)$ из оценок корреляционных функций по выражению (35) и получению робастной корреляционной матрицы $\bar{R}_{g g}^R(\mu)$, совпадающей с корреляционной матрицей $\bar{R}_{X X}^R(\mu)$ полезных сигналов:

$$\bar{R}_{XX}^R(\mu) = \begin{vmatrix} R_{gg}(0) - D^*(\varepsilon) & R_{gg}(\Delta t) & \dots & R_{gg}[(N-1)\Delta t] \\ R_{gg}(\Delta t) & R_{gg}(0) - D^*(\varepsilon) & \dots & R_{gg}[(N-2)\Delta t] \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{gg}[(N-1)\Delta t] & R_{gg}[(N-2)\Delta t] & \dots & R_{gg}(0) - D^*(\varepsilon) \end{vmatrix} \approx \bar{R}_{XX}^R(\mu). \quad (38)$$

Таким образом, обеспечивается выполнение условия (29). Это позволяет обеспечить адекватность идентификации динамики при мониторинге и диагностике сейсмостойкости и технического состояния высотного здания и строительного сооружения.

Разработаны алгоритмы мониторинга технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах с помощью множеств информативных признаков. Для этого в четыре этапа составляются робастные матрицы Z_X^R , $V_{X_i}^R$.

На первом этапе определяются оценки величин дисперсий помех $D^*(\varepsilon_i)$ и робастных оценок авто и взаимно корреляционных функций $R_{X_i X_i}^R(\mu)$ по алгоритмам (33)-(35). На втором этапе вычисляются робастные коэффициенты a_n^R , b_n^R спектрального разложения в ряд Фурье по алгоритмам (36). На третьем этапе по выражению (37) формируются робастные корреляционные матрицы $\bar{R}_{XX}^R(0)$, $\bar{R}_{XY}^R(0)$, составленные из робастных оценок авто и взаимно корреляционных функций $R_{X_i X_i}^R(0)$, $R_{X_i Y}^R(0)$, решается задача идентификации статики

$$\bar{R}_{XX}^R(0) \cdot \bar{C}^R = \bar{R}_{XY}^R(0), \quad (39)$$

и вычисляются робастные коэффициенты c_{ij}^R уравнения идентификации статики по выражению

$$\bar{C}^R = \left[\bar{R}_{XX}^R(0) \right]^{-1} \bar{R}_{XY}^R(0). \quad (40)$$

На четвертом этапе по выражению (38) формируются робастные корреляционные матрицы $\bar{R}_{XX}^R(\mu)$, $\bar{R}_{XY}^R(\mu)$, составленные из робаст-

ных оценок авто и взаимно корреляционных функций $R_{X_i X_i}^R(\mu)$, $R_{X_i Y}^R(\mu)$, решается задача идентификации динамики

$$\bar{R}_{X X}^R(\mu) \bar{W}(\mu) = \bar{R}_{X Y}^R(\mu), \quad (41)$$

и вычисляются робастные $W_{ij}^R(\mu)$ передаточные функции:

$$\bar{W}_{ij}^R(\mu) = \left[\bar{R}_{X X}^R(\mu) \right]^{-1} \bar{R}_{X Y}^R(\mu). \quad (42)$$

После выполнения всех четырех этапов обеспечиваются условия робастности, то есть выполняются равенства (32). Это позволяет формировать робастные множества информативных признаков Z_X^R , $V_{X_i}^R$, для которых выполняются равенства (31). Таким образом, для достоверного прогнозирования технического состояния высотного здания или строительного сооружения в результате применения робастной технологии формирования множеств состояний Z_X^R , $V_{X_i}^R$ появляется возможность выявления неисправностей на ранних стадиях.

В четвертой главе разработана технология экспериментального исследования и проведения вычислительных экспериментов для определения сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах.

Сначала разработана технология моделирования сигналов, поступающих от датчиков, установленных в наиболее информативных конструкциях высотных зданий и строительных сооружений, по результатам обработки которых можно судить о сейсмостойкости и техническом состоянии высотных зданий, строительных и стратегических объектов. Показано, что по своей природе сигналы, получаемые от этих датчиков, могут быть разделены на четыре группы: 1) детерминированные, когда исследуется неслучайный сигнал без искажений, являющийся некоторой функцией времени; временная зависимость сигнала может задаваться любым математическим выражением; 2) детерминированный (неслучайный) сигнал, искаженный помехой, являющийся случайной функцией; 3) случайный сигнал, не содержащий искажений; 4) случайный сигнал, искаженный помехой, являющийся случайной функцией.

Поэтому смоделирован банк полезных сигналов $X(t)$ с различными шагами дискретизации Δt в виде сумм синусоид и косинусоид с заданными амплитудами a_k , b_k и частотами $k\omega_0$:

$$X(i\Delta t) = \sum_{k=1}^{k_{end}} [a_k \cos(k\omega_0(i\Delta t)) + b_k \sin(k\omega_0(i\Delta t))].$$

Банк полезных сигналов $X(t)$ и помех $\varepsilon(t)$ смоделирован также с помощью генератора случайных чисел в виде случайных последовательностей с beta-, exponential-, gamma-, normal-, rayleigh- и weibull законами распределения при различных значениях параметров этих распределений. Сформированы зашумленные сигналы $g(i\Delta t) = X(i\Delta t) + \varepsilon(i\Delta t)$ с различными законами распределения и соотношениями «полезный сигнал-помеха». Таким образом, банк содержит как сигналы, для которых соблюдаются классические условия, так и сигналы, для которых они нарушаются. Для всех этих сигналов построены графики и гистограммы. При моделировании сигналов всех четырех групп и проведении вычислительных экспериментов использовано средство компьютерной математики MATLAB.

Разработана технология экспериментального исследования случайных сигналов с помощью характеристик помехи. В каждом вычислительном эксперименте для случайных помех вычислены дисперсии по традиционному алгоритму, то есть по формуле (6). Затем для зашумленного сигнала $g(v\Delta t)$ вычислена дисперсия $D^*(\varepsilon)$ помехи $\varepsilon(v\Delta t)$ по формулам (33), (34). В качестве показателя эффективности эксперимента была принята величина относительной погрешности: $proc = (D(\varepsilon) - D^*(\varepsilon)) / D(\varepsilon) * 100\%$.

Ниже приводятся результаты одного из экспериментов для случая, когда полезный сигнал $x_0 = 40 \sin(t)$ и случайная помеха подчиняется

exponential-распределения (Distribution) $f(\varepsilon|\mu) = \frac{1}{\mu} e^{-\frac{\varepsilon}{\mu}}$ с параметром $\mu = 5$

Таблица 1

N	Оценки	$\Delta t = \pi/50$	$\Delta t = \pi/100$	$\Delta t = \pi/200$	$\Delta t = \pi/400$
1	$D(\varepsilon)$	27.7153	23.6353	28.2664	25.9530
2	$D^*(\varepsilon)$	23.8590	25.0362	26.8281	25.6202
3	<i>proc</i> , %	15.5922	5.9272	5.0884	1.2820

Множество проведенных экспериментов подтвердили эффективность разработанного алгоритма.

Разработана технология и приведены результаты вычислительных экспериментов для корреляционного мониторинга сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах.

Для проведения вычислительных экспериментов были вычислены: 1) оценки корреляционных функций $R_{XX}(\mu)$, $R_{gg}(\mu)$ полезного $X(t)$ и зашумленного $g(t)$ сигналов; 2) величина дисперсии $D^*(\varepsilon)$ помехи $\varepsilon(i\Delta t)$ по выражениям (33), (34); 3) робастные оценки нормированной автокорреляционной функции по выражению (35). Затем проведен сравнительный анализ и вычислены величины относительных погрешностей оценок автокорреляционных функций $R_{gg}(\mu)$ зашумленных сигналов $g(t)$ и робастных оценок $R_{gg}^R(\mu)$ по выражениям:

$$\Delta R_{XX}(\mu) = \left| \frac{R_{gg}(\mu) - R_{XX}(\mu)}{R_{XX}(\mu)} \right| \cdot 100\% ;$$

$$\Delta R_{XX}^R(\mu) = \left| \frac{R_{gg}^R(\mu) - R_{XX}(\mu)}{R_{XX}(\mu)} \right| \cdot 100\% . \quad (43)$$

Ниже приводятся результаты вычислительного эксперимента для случая, когда входной полезный сигнал $X(i\Delta t) = 40 \sin(i\Delta t) + 100$, помеха $\varepsilon(t)$ подчиняется нормальному закону распределения с мате-

математическим ожиданием $m_\varepsilon \approx 0$ и дисперсией $D(\varepsilon) \approx 90$ (таблица 2), то есть соблюдены классические условия. В вычислительном эксперименте, когда полезный сигнал $X(i\Delta t) = 50\sin(i\Delta t) + 5\cos(0.5 \cdot i\Delta t) + 2\sin(i\Delta t) + 5\cos(13 \cdot i\Delta t) + 15$, помеха $\varepsilon(t)$ подчиняется логнормальному распределению с математическим ожиданием $m_\varepsilon \approx 0$ и дисперсией $D(\varepsilon) \approx 665$ (таблица 3), нарушены классические условия.

Таблица 2

	$R_{X\dot{X}}^{\circ}(\mu)$	$R_{g\dot{g}}^{\circ}(\mu)$	$R_{g\dot{g}}^R(\mu)$	$\Delta R_{X\dot{X}}^{\circ}(\mu)$	$\Delta^R R_{X\dot{X}}^{\circ}(\mu)$
1	2	3	4	5	6
Эксперимент №1 $m_{\varepsilon} = 89,7642$ $D(\varepsilon) = 90,6617$	800.000	888.7157	808.0540	11.0895	1.0067
	799.6052	801.1015	801.1015	0.1871	0.1871
	798.4214	794.1490	794.1490	0.5351	0.5351
	796.4496	798.2796	798.2796	0.2298	0.2298
	793.6918	790.7896	790.7896	0.3657	0.3657

Таблица 3

	$R_{X\dot{X}}^{\circ}(\mu)$	$R_{g\dot{g}}^{\circ}(\mu)$	$R_{g\dot{g}}^R(\mu)$	$\Delta R_{X\dot{X}}^{\circ}(\mu)$	$\Delta^R R_{X\dot{X}}^{\circ}(\mu)$
1	2	3	4	5	6
Эксперимент №6 $m_{\varepsilon} = 665,69$ $D(\varepsilon) = 507,8$ $D^*(\varepsilon)$	1377.0	1963.9	1366.1	42.6213	0.7927
	1376.6	1320.6	1320.6	4.0687	4.0687
	1375.3	1275.0	1275.0	7.2900	7.2900
	1373.2	1317.9	1317.9	4.0313	4.0313
	1370.4	1279.5	1279.5	6.6343	6.6343

В результате анализа полученных результатов сделаны выводы.

1) Выполняются условия (таблица 1, таблица 2, столбец 1)

$$D^*(\varepsilon) \approx D(\varepsilon). \quad (44)$$

2) Для оценок корреляционных функций $R_{g\dot{g}}^{\circ}(\mu)$ зашумленных сигналов выполняется неравенство (таблицы 1, 2, столбцы 2, 3)

$$R_{g\dot{g}}^{\circ}(\mu) \neq R_{X\dot{X}}^{\circ}(\mu). \quad (45)$$

3) Для робастных оценок корреляционных функций $R_{gg}^R(\mu)$ выполняется равенство (11) (таблица 2, таблица 3, столбцы 3, 4).

Разработана технология и приведены результаты вычислительных экспериментов для спектрального мониторинга сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах. Для этого вычислялись:

- 1) оценки коэффициентов ряда Фурье полезного и зашумленного сигналов по традиционным алгоритмам (13)-(15);
- 2) истинные погрешности оценок коэффициентов ряда Фурье a_n^* , b_n^* по выражению (16);
- 3) робастные оценки коэффициентов ряда Фурье зашумленного сигнала по нетрадиционным алгоритмам (36);
- 4) относительные погрешности оценок коэффициентов ряда Фурье зашумленных сигналов и робастных оценок коэффициентов ряда Фурье:

$$\Delta a = |a_n - a_n^*|/a_n * 100, \Delta b = |b_n - b_n^*|/b_n * 100\%; \quad (46)$$

$$\Delta a^R = |a_n - a_n^R|/a_n * 100, \Delta b^R = |b_n - b_n^R|/b_n * 100\%. \quad (47)$$

Ниже приводятся результаты вычислительного эксперимента для случая, когда входной полезный сигнал сформирован в виде суммы гармонических колебаний

$$X(i\Delta t) = 10 \cos(i\Delta t) + 20 \cos(3 \cdot i\Delta t) + 30 \cos(5 \cdot i\Delta t) + 15 \sin(i\Delta t) + 25 \sin(2 \cdot i\Delta t) - 20 \sin(4 \cdot i\Delta t) + 35, \text{ помеха } \varepsilon(t) \text{ подчиняется нор-}$$

мальному закону распределения с математическим ожиданием $m_\varepsilon \approx 0$

и дисперсией $D(\varepsilon) \approx 130$, значение относительной погрешности от-

счетов $g(i\Delta t)$ составляет $\lambda_{rel} = D^*(\varepsilon)/D(g) = 0,253$.

Таблица 4

n	ϖ	a_n	a_n^*	a_n^R	$N_{b_n}^+ - N_{b_n}^-$	$N P_{a_n}$	$P_{a_n}^+$	$P_{a_n}^-$
0	0	0,00	-0,00	0,000	0	0,00	0,00	0,00
25	$\pi/100$	10,01	11,176	9,837	450	27940,402	28,926	22,367
50	$2\pi/100$	0,02	0,954	0,013	256	2383,933	24,692	26,352
75	$3\pi/100$	20,000	23,977	18,982	1622	59942,184	30,398	24,101

n	ϖ	a_n	a_n^*	a_n^R	$N_{b_n^+} - N_{b_n^-}$	$N P_{a_n}$	$P_{a_n}^+$	$P_{a_n}^-$
100	$4\pi/100$	-0,130	-1,549	-0,189	-550	-3873,065	28,699	24,406
125	$5\pi/100$	30,000	35,628	28,853	2174	89070,086	30,764	15,059

Таблица 5

n	ϖ	b_n	b_n^*	b_n^R	$N_{b_n^+} - N_{b_n^-}$	$N P_{b_n}$	$P_{b_n}^+$	$P_{b_n}^-$
0	0	0,000	- 0,000	0,000	0	0,00	0,00	0,00
25	$\pi/100$	15,000	17,75	14,913	1024	44367,03	27,31	19,03
50	$2\pi/100$	25,000	29,46	24,093	1847	73,641,44	28,67	15,37
75	$3\pi/100$	-0,130	-0,41	-0,174	-108	-1028,90	22,29	21,75
100	$4\pi/100$	-20,00	- 24,30	-19,66	-1665	- 60740,66	18,25	27,47
125	$5\pi/100$	-0,050	1,48	0,040	513	3694,92	22,60	26,19

Таким образом, применение робастной технологии спектрального анализа позволяет обеспечить выполнение равенства (17).

Разработана технология и приведены результаты вычислительных экспериментов для улучшения обусловленности корреляционных матриц при решении задач идентификации статики высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах. Для этого вычислены:

1) оценки корреляционных функций полезных и зашумленных входных и выходного сигналов $R_{X_k X_l}(\mu)$, $R_{X_k y}(\mu)$, $R_{y y}(\mu)$, $R_{g_k g_l}(\mu)$,

$R_{g_k \eta}(\mu)$, $R_{\eta \eta}(\mu)$ $k, l = \overline{1, n}$;

2) робастные оценки авто корреляционных функций зашумленных входных и выходного сигналов $R_{X_k X_k}^R(\mu)$, $R_{X_k y}^R(\mu)$ по выражению

(35);

3) сформированы матрицы $\bar{R}_{X X}(\mu)$, $\bar{R}_{X y}(\mu)$, $\bar{R}_{g g}(\mu)$, $\bar{R}_{g \eta}(\mu)$ полезных и зашумленных сигналов по выражению (19), робастная матрица

$\bar{R}_{XX}^R(0)$ по выражению (37), вычислены их определители $\Delta_{XX}^{\circ\circ}(0)$, $\Delta_{gg}^{\circ\circ}(0)$, $\Delta_{XX}^R(0)$ и числа обусловленности $H\left(\bar{R}_{XX}^{\circ\circ}(0)\right)$, $H\left(\bar{R}_{gg}^{\circ\circ}(0)\right)$, $H\left(\bar{R}_{XX}^R(0)\right)$;

5) вычислены коэффициенты математической модели полезных и зашумленных сигналов по выражениям (18), (20) и робастные оценки по выражениям (39)-(40).

Проведен сравнительный анализ. Для этого вычислены:

1) величины относительных погрешностей оценок элементов корреляционных матриц зашумленных сигналов и робастных оценок $\Delta R_{g_k g_l}^{\circ\circ}(0)$, $\Delta R_{g_k \eta}^{\circ\circ}(0)$, $\Delta R_{X_k X_l}^R(0)$, $\Delta R_{x_k y}^R(0)$ по выражениям (43);

2) составлены матрицы относительных погрешностей элементов корреляционной матрицы зашумленных сигналов и робастных корреляционных матриц $\Delta \bar{R}_{gg}^{\circ\circ}(0)$, $\Delta \bar{R}_{g\eta}^{\circ\circ}(0)$, $\Delta \bar{R}_{XX}^R(0)$, $\Delta \bar{R}_{Xy}^R(0)$;

3) относительные погрешности определителей $p\Delta_{gg}^{\circ\circ}(0)$ и $p\Delta_{XX}^R(0)$ корреляционных матриц зашумленных сигналов и робастных корреляционных матриц;

4) относительные погрешности коэффициентов математической модели зашумленных сигналов и робастных коэффициентов модели $pc_{k_g g}^{\circ\circ}$, $pc_{k_{xx}}^R$.

Приведены результаты вычислительного эксперимента, когда нарушены классические условия. Сформированы три полезных входных сигнала

$x_1(i\Delta t) = 30 \sin(i\Delta t) + 13 \cos(1.2 \cdot i\Delta t - 3) - 35 \sin(1.1 \cdot i\Delta t) + 100$,
 $x_2(i\Delta t) = 50 \sin(i\Delta t - 0.5) + 120$, $x_3(i\Delta t) = 70 \sin(i\Delta t + 0.3) - 45 \cos(0.4 \cdot i\Delta t) + 150$ и выходной сигнал $y(i\Delta t) = 120 + 10x_1(i\Delta t) + 15x_2(i\Delta t) - 10x_3(i\Delta t)$. Помеха $\varepsilon_1(t)$ подчиняется экспоненциальному закону распределения с математическим ожида-

нием $m_{\varepsilon_1} \approx 7$ и средним квадратичным отклонением $\sigma_{\varepsilon_1} \approx 7$. Помеха $\varepsilon_2(t)$ подчиняется гамма-распределению с математическим ожиданием $m_{\varepsilon_2} \approx 9$ и средним квадратичным отклонением $\sigma_{\varepsilon_2} \approx 5$. Помеха $\varepsilon_3(t)$ подчиняется нормальному закону распределения с математическим ожиданием $m_{\varepsilon_3} \approx 0$ и средним квадратичным отклонением $\sigma_{\varepsilon_3} \approx 25$. Помеха $\varphi(t)$ подчиняется нормальному закону распределения с математическим ожиданием $m_{\varphi} \approx 0$ и средним квадратичным отклонением $\sigma_{\varphi} \approx 100$.

В результате анализа полученных результатов сделаны выводы, что значения коэффициентов математической модели зашумленных сигналов сильно отличаются от значений коэффициентов полезных сигналов, а значения робастных коэффициентов математической модели практически совпадают со значениями коэффициентов полезных сигналов:

$$c_{k \overset{\circ}{\underset{\circ}{X}} \overset{\circ}{\underset{\circ}{g}}} \neq c_{k \overset{\circ}{\underset{\circ}{X}} \overset{\circ}{\underset{\circ}{X}}}, \quad a_{k \overset{\circ}{\underset{\circ}{X}} \overset{\circ}{\underset{\circ}{X}}}^R \approx a_{k \overset{\circ}{\underset{\circ}{X}} \overset{\circ}{\underset{\circ}{X}}}. \quad (48)$$

Это означает, что обеспечивается адекватность математической модели.

Разработана технология и приведены результаты вычислительных экспериментов для улучшения обусловленности корреляционных матриц при решении задач идентификации динамики высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах. Для этого вычислены:

- 1) оценки корреляционных функций $R_{\overset{\circ}{\underset{\circ}{X}} \overset{\circ}{\underset{\circ}{X}}}(\mu)$, $R_{\overset{\circ}{\underset{\circ}{g}} \overset{\circ}{\underset{\circ}{g}}}(\mu)$, $\bar{R}_{\overset{\circ}{\underset{\circ}{X}} \overset{\circ}{\underset{\circ}{X}}}^R(\mu)$ по выражениям (1)-(2), (35);
- 2) сформированы матрицы $\bar{R}_{\overset{\circ}{\underset{\circ}{X}} \overset{\circ}{\underset{\circ}{X}}}(\mu)$, $\bar{R}_{\overset{\circ}{\underset{\circ}{g}} \overset{\circ}{\underset{\circ}{g}}}(\mu)$ полезных и зашумленных сигналов и робастная матрица $\bar{R}_{\overset{\circ}{\underset{\circ}{X}} \overset{\circ}{\underset{\circ}{X}}}^R(\mu)$ по выражениям (24), (27), (38);
- 3) определители $\Delta_{\overset{\circ}{\underset{\circ}{X}} \overset{\circ}{\underset{\circ}{X}}}(\mu)$, $\Delta_{\overset{\circ}{\underset{\circ}{g}} \overset{\circ}{\underset{\circ}{g}}}(\mu)$, $\Delta_{\overset{\circ}{\underset{\circ}{X}} \overset{\circ}{\underset{\circ}{X}}}^R(\mu)$ и числа обусловленно-

сти $H\left(\bar{R}_{XX}^{\circ}(\mu)\right)$, $H\left(\bar{R}_{gg}^{\circ}(\mu)\right)$, $H\left(\bar{R}_{XX}^R(\mu)\right)$ матриц $\bar{R}_{XX}^{\circ}(\mu)$, $\bar{R}_{gg}^{\circ}(\mu)$, $\bar{R}_{XX}^R(\mu)$.

Для проведения сравнительного анализа вычислены:

- 1) величины относительных погрешностей оценок элементов $\Delta R_{gg}^{\circ}(\mu)$, $\Delta R_{XX}^R(\mu)$ матрицы зашумленных сигналов и робастной корреляционной матрицы;
- 2) составлены матрицы относительных погрешностей элементов корреляционной матрицы зашумленного сигнала $\Delta \bar{R}_{gg}^{\circ}(\mu)$ и робастной корреляционной матрицы $\Delta \bar{R}_{XX}^R(\mu)$.

Ниже приводятся результаты вычислительных экспериментов для решения задачи идентификации динамики, когда для полезного сигнала и помехи не выполняются классические условия. Входной полезный сигнал $X(t)$ получен в результате интерполяции рядом Фурье дедимированной с параметром $r = 100$ нормально распределенной случайной последовательности. Помеха $\varepsilon(t)$ подчиняется экспоненциальному закону распределения с математическим ожиданием $m_{\varepsilon} \approx 10$ и средними квадратичными отклонениями $\sigma_{\varepsilon} \approx 10$. Корреляционная матрица построена для значений $\mu = 0, 1, \dots, 9$. В результате анализа полученных результатов сделаны выводы, что корреляционная матрица зашумленного сигнала отличается от корреляционной матрицы $\bar{R}_{XX}^{\circ}(\mu)$ полезного сигнала. Робастная корреляционная матрица $\bar{R}_{XX}^R(\mu)$ практически совпадает с корреляционной матрицей $\bar{R}_{XX}^{\circ}(\mu)$ полезного сигнала. Значение определителя $\Delta_{XX}^R(\mu)$ и число обусловленности $H\left(\bar{R}_{XX}^R(\mu)\right)$ робастной корреляционной матрицы $\bar{R}_{XX}^R(\mu)$ ближе к значению определителя $\Delta_{XX}^{\circ}(\mu)$ и числу обусловленности

$H\left(\bar{R}_{x\dot{x}}(\mu)\right)$ корреляционной матрицы $\bar{R}_{x\dot{x}}(\mu)$ полезного сигнала.

В пятой главе описаны технические средства и системы помехо-контроля и помехомониторинга начала изменения сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах. Отмечено, что многочисленны разрушения, приводящие во многих странах за последние годы к катастрофическим последствиям, показывают необходимость использования в системах мониторинга сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий и строительных объектов новых более эффективных информационных технологий, разработанных в главе 3.

Разработана *адаптивная аппаратно-программная технология дискретизации зашумленных сигналов*, которые в локальных системах мониторинга сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий и строительных сооружений поступают от вибро-, сейсмо-, пьезо-, тензо- и др. датчиков, установленных в наиболее информативных частях строительных конструкций. Амплитудно-квантованный сигнал $X(i\Delta t)$, полученный в результате аналого-цифрового (АЦП) преобразования, представляющий собой сумму элементарных случайных сигналов $q_k(i\Delta t)$, назван позиционно-бинарным сигналом (ПБС). Предложен позиционно-бинарный способ определения шага дискретизации Δt по времени, который сводится:

1) с избыточной частотой f_v в течение времени наблюдения T исходный сигнал $X(i\Delta t)$ с помощью аналого-цифрового преобразователя естественным образом разлагается на позиционно-бинарные сигналы $q_k(i\Delta t)$, и образуется файл его отсчетов;

2) вычисляется $\langle T_{q_k} \rangle = \langle T_{1q_k} \rangle + \langle T_{0q_k} \rangle$, $\langle T_{1q_k} \rangle = \frac{1}{\gamma} \sum_{j=1}^{\gamma} T_{1q_{kj}}$ и

$$\langle T_{0q_k} \rangle = \frac{1}{\gamma} \sum_{j=1}^{\gamma} T_{1q_{kj}}, \quad (49)$$

3) где T_{1q_k} , T_{0q_k} – длительности единичных и нулевых полупериодов ПБС $q_k(i\Delta t)$;

$$4) \text{ по формуле } f_{q_k} = \frac{1}{\langle T_{q_k} \rangle} \text{ находится } f_{q_k}; \quad (50)$$

$$5) \text{ по формуле определяется: } \Delta t \leq \frac{1}{5 \cdot 2^k f_{q_k}}. \quad (51)$$

Предложен принцип позиционно-избирательной адаптивной дискретизации зашумленных сигналов, который в локальных системах мониторинга сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий и строительных сооружений позволяет учитывать возможность адаптации шага дискретизации в соответствии с развитием процесса формирования дефекта в строительных конструкциях.

Предложена **цифровая система испытания и контроля качества строительных работ в сейсмоактивных регионах**. В системе предусмотрены решение задач испытания и мониторинга в следующих вариантах:

- 1) путем вычисления робастных оценок спектральных характеристик суммарного сигнала по выражениям (36);
- 2) в результате создания искусственным путем колебаний почвы, регистрации и обработки сигналов;
- 3) путем пассивного наблюдения в процессе нормальной эксплуатации в течение достаточно длительного времени, определения оценок дисперсии помехи $D^*(\varepsilon)$ по выражениям (34) и

$$D(g) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g^2(i\Delta t), \quad D(X) = D(g) - D^*(\varepsilon),$$

проведения для различных ситуаций обучения, формирования соответствующих робастных эталонных множеств

$$Z_X^R = \begin{pmatrix} D^*(\varepsilon_1) & D^*(\varepsilon_2) & \dots & D^*(\varepsilon_n) \\ D(g_1) & D(g_2) & \dots & D(g_n) \\ D(X_1) & D(X_2) & \dots & D(X_n) \\ a_{11}^R & a_{12}^R & \dots & a_{1n}^R \\ b_{11}^R & b_{12}^R & \dots & b_{1n}^R \\ a_{21}^R & a_{22}^R & \dots & a_{2n}^R \\ b_{21}^R & b_{22}^R & \dots & b_{2n}^R \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{k1}^R & a_{k2}^R & \dots & a_{kn}^R \\ b_{k1}^R & b_{k2}^R & \dots & b_{kn}^R \end{pmatrix}, \quad (52)$$

и сравнения текущих оценок сигналов с оценками эталонных множеств.

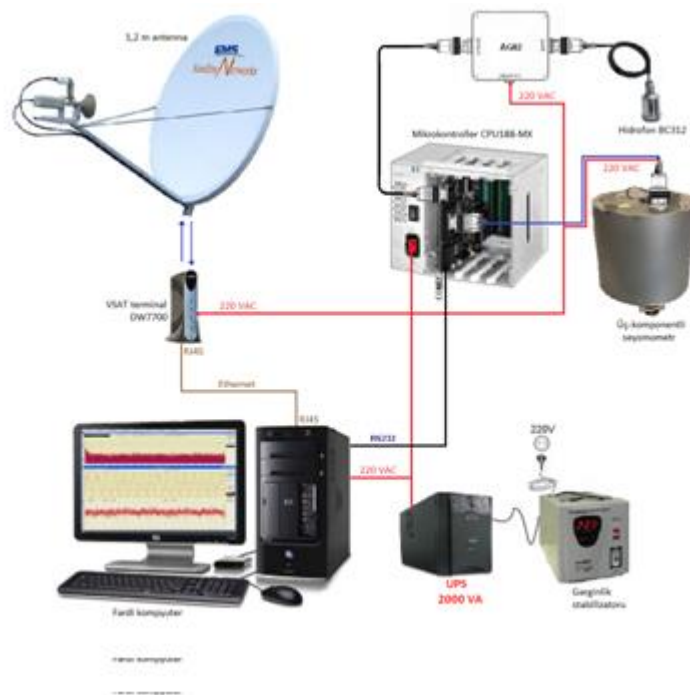
Отмечено, что одной из основных задач, которые необходимо решать при функционировании современного «интеллектуального дома», является мониторинг изменения сейсмостойкости и технического состояния здания на ранней стадии появления дефектов. Поэтому предложена *локальная система помехомониторинга начала изменения технического состояния строительных сооружений*, которая состоит из датчиков D_1, D_2, \dots, D_m , интерфейса 1 с многоканальным преобразователем аналог-код и серийных контроллеров 2, 3.

При функционировании системы на этапе обучения в блоке 2 в каждом цикле последовательно по алгоритмам (33)-(36) определяются оценки характеристик помехи и робастные оценки зашумленных сигналов, получаемых от датчиков D_1, D_2, \dots, D_m . При этом из вычисленных оценок формируются эталонные множества

$$Z_X^R = \begin{bmatrix} D^*(\varepsilon_1) & D^*(\varepsilon_2) & \dots & D^*(\varepsilon_n) \\ R_{X_1 X_1}^R(\mu) & R_{X_1 X_2}^R(\mu) & \dots & R_{X_1 X_n}^R(\mu) \\ R_{X_2 X_1}^R(\mu) & R_{X_2 X_2}^R(\mu) & \dots & R_{X_2 X_n}^R(\mu) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{X_n X_1}^R(\mu) & R_{X_n X_2}^R(\mu) & \dots & R_{X_n X_n}^R(\mu) \\ a_{11}^R & a_{12}^R & \dots & a_{1n}^R \\ b_{11}^R & b_{12}^R & \dots & b_{1n}^R \\ a_{21}^R & a_{22}^R & \dots & a_{2n}^R \\ b_{21}^R & b_{22}^R & \dots & b_{2n}^R \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{k1}^R & a_{k2}^R & \dots & a_{kn}^R \\ b_{k1}^R & b_{k2}^R & \dots & b_{kn}^R \end{bmatrix}. \quad (53)$$

В процессе нормальной эксплуатации объекта также определяются допустимые диапазоны их отклонений. После этого система переходит в режим мониторинга с применением технологии помехообнаружения процесса зарождения изменения технического состояния объекта. Если значения характеристик не превосходят установленных в процессе обучения эталонных диапазонов, то считается, что в контролируемых участках, соответствующих номеру датчика анализируемого сигнала, дефекта нет. В противном случае, если даже одна из оценок оказывается больше или меньше соответствующего эталонного диапазона, время начала цикла фиксируется как начало процесса зарождения дефекта на соответствующих площадях контролируемого объекта.

Один из возможных вариантов технической реализации локальной системы помехомониторинга начала изменения сейсмостойкости и технического состояния строительных сооружений представлен на рисунке. В состав системы входят следующие технические средства: системный блок персонального компьютера; контроллер системы типа Micro Pc фирмы Fastwel; сейсмический акселерометр CMG 5T фирмы GURALP LTD; гидрофон BC 321 Зеленоград; усиливающие и нормирующие элементы; терминал VSAT DW7700, который образует Internet канал.



Предложена **интеллектуальная система помехомониторинга технического состояния объектов и сигнализации начала аномальных сейсмических процессов**. Каждый из социально-значимых объектов O_1, O_2, \dots, O_m снабжается локальной системой помехомониторинга $L_{11}, L_{12}, \dots, L_{1m}, L_{21}, L_{22}, \dots, L_{2m}, L_{N1}, L_{N2}, \dots, L_{Nm}$ (рис. 1).

При ее функционировании сигналы $g_1(i\Delta t), g_2(i\Delta t), \dots, g_m(i\Delta t)$ от каждого объекта анализируются на контроллере локальной системы, и полученные результаты через модемы и средства радиосвязи передаются в модем сервера S центральной системы. Результаты мониторинга и краткосрочного прогнозирования землетрясения от системы аномальных сейсмических процессов SP также передаются в сервер центральной системы. В сервере S общегородской системы для решения задачи мониторинга технического состояния контролируемых объектов и также для краткосрочного прогнозирования землетрясения, кроме технологий (33)-(36), (52), (53) применяются алгоритмы (37) со-

ставления робастных корреляционных матриц $\bar{R}_{gg}^R(0)$, алгоритмы (39), (40) решения задачи идентификации статистики и вычисления робастных коэффициентов c_{ij}^R .

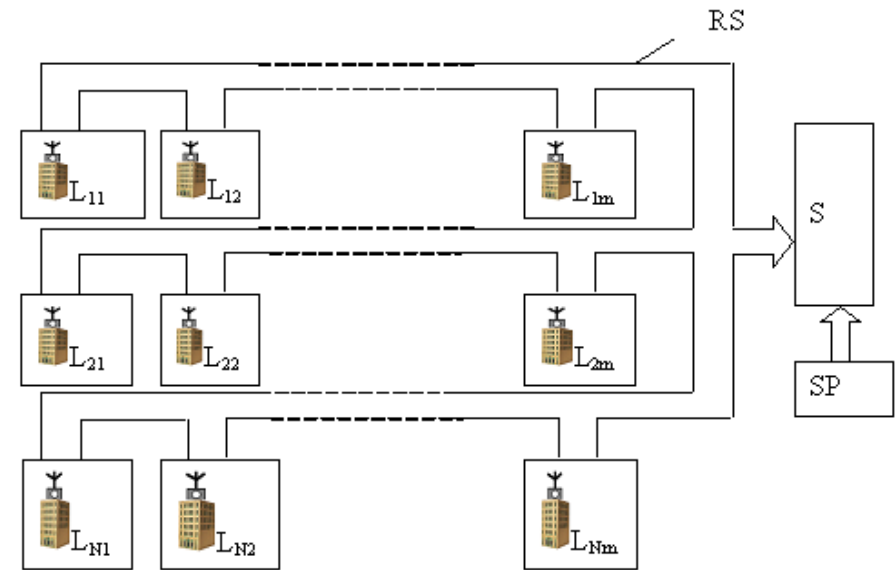


Рис. 1. Интеллектуальная система помехомониторинга аномальных сейсмопроцессов и технического состояния строительных объектов.

Кроме того, для каждого зашумленного сигнала строятся гистограммы распределений $W[D^*(\varepsilon)]$ и величины их возможных отклонений, которые также запоминаются как эталонные информативные признаки.

Система функционирует в четырех режимах. На начальном этапе по выражениям (33)-(36), (52), (53) определяются соответствующие оценки, диапазоны их минимального, среднего и максимального отклонений, создаются эталонные множества, и проводится обучение. После этапа обучения система переходит в режим мониторинга. Текущие оценки сравниваются с соответствующими эталонными вели-

чинами. Если при этом их разность не превышает принятых минимальных диапазонов, то считается, что техническое состояние соответствующего объекта O_1, O_2, \dots, O_m не изменилось. В противном случае полученные разности используются для принятия решения и формирования сигнала, показывающего начало изменения технического состояния соответствующего объекта.

Во втором режиме только при одновременном обнаружении отклонения выше минимального диапазона перечисленных оценок сигналов, полученных от близко расположенных групп объектов, формируется сигнализация о начале оползня.

При одновременной регистрации отклонений текущих оценок выше минимального диапазона от нескольких групп объектов, расположенных на значительных расстояниях друг от друга, сервер S системы переходит к функционированию в 3-й режим. Формируются соответствующие эталонные множества из:

1) оценок дисперсий $D(g), D^*(\varepsilon), D(X)$ и гистограммы помехи $W[D^*(\varepsilon)]$:

$$Z1_X^R = \left\| \begin{array}{cccc} D^*(\varepsilon_1) & D^*(\varepsilon_2) & \dots & D^*(\varepsilon_n) \\ D(g_1) & D(g_2) & \dots & D(g_n) \\ D(X_1) & D(X_2) & \dots & D(X_n) \\ W[D^*(\varepsilon_1)] & W[D^*(\varepsilon_2)] & \dots & W[D^*(\varepsilon_n)] \end{array} \right\|, \quad (54)$$

2) робастных корреляционных функций $R_{XX}^R(\mu)$, робастных матриц

$\bar{R}_{XX}^R(0)$, робастных коэффициентов c_{ij}^R , полученных в результате решения задачи идентификации статики:

$$Z2_X^R = \begin{bmatrix} R_{X_1 X_1}^R(\mu) & R_{X_2 X_2}^R(\mu) & R_{X_n X_n}^R(\mu) \\ \bar{R}_{X_1 X_1}^R(0) & \bar{R}_{X_2 X_2}^R(0) & \bar{R}_{X_n X_n}^R(0) \\ c_{11}^R & c_{12}^R & c_{1n}^R \\ c_{21}^R & c_{22}^R & c_{2n}^R \\ \dots & \dots & \dots \\ c_{m1}^R & c_{m2}^R & c_{mn}^R \end{bmatrix}, \quad (55)$$

3) робастных спектральных оценок оценок a_n^R , b_n^R , a_{n_g} , b_{n_g} :

$$Z3_X^R = \begin{bmatrix} a_{11}^R & a_{12}^R & \dots & a_{1n}^R \\ b_{11}^R & b_{12}^R & \dots & b_{1n}^R \\ a_{21}^R & a_{22}^R & \dots & a_{2n}^R \\ b_{21}^R & b_{22}^R & \dots & b_{2n}^R \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{k1}^R & a_{k2}^R & \dots & a_{kn}^R \\ b_{k1}^R & b_{k2}^R & \dots & b_{kn}^R \end{bmatrix}, \quad (56)$$

4) результирующего множества, состоящего из робастных множеств $Z1_X^R$, $Z2_X^R$, $Z3_X^R$: $Z_X^R = \{Z1_X^R \quad Z2_X^R \quad Z3_X^R\}$. (57)

Отличие этих множеств от эталонных ситуаций фиксируется как тревожное состояние, свидетельствующее об угрожающем характере начинающихся аномальных процессов.

Наконец по получении тревожной информации от системы аномальных сейсмических процессов SP система переходит в 4-ый режим, когда происходит распознавание сейсмической ситуации.

Рассмотрена возможность взаимосвязанного решения проблемы создания *общегородской робастной распределенной системы помехомониторинга технического состояния высотных зданий* и контроля микроизменения их сейсмостойкости во время частых мало-мощных землетрясений, предшествующих землетрясению.

При функционировании системы (рис.2) сначала определяется шаг дискретизации Δt_ε сигналов $g_{11}(i\Delta t)$, $g_{12}(i\Delta t)$, ..., $g_{1m}(i\Delta t)$,

$g_{21}(i\Delta t), g_{22}(i\Delta t), \dots, g_{2m}(i\Delta t), \dots, g_{n1}(i\Delta t), g_{n2}(i\Delta t), \dots, g_{nm}(i\Delta t)$,
 полученных от объектов $O_{11}, O_{12}, \dots, O_{1m}, O_{21}, O_{22}, \dots, O_{2m}, \dots,$
 $O_{n1}, O_{n2}, \dots, O_{nm} : \Delta t \leq \frac{1}{5 \cdot 2^k f_{q_k}}$, где f_{q_k} – частота q_k -го позици-
 онного-бинарного импульсного сигнала (ПБИС).

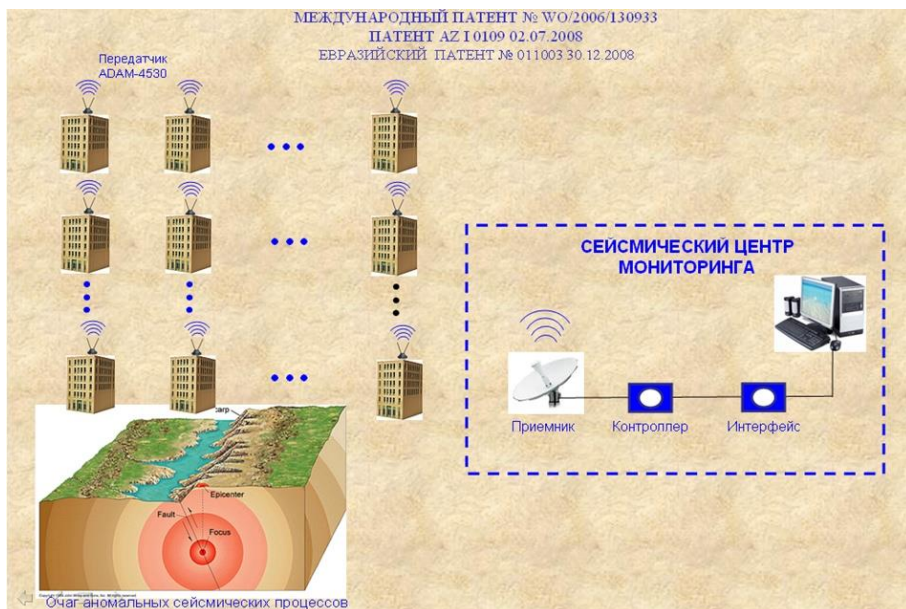


Рис. 2. Общегородская робастная распределенная система помехомониторинга технического состояния высотных зданий

Система функционирует на основе вышеприведенных алгоритмов, (33)-(36), (52)-(57). Кроме того, применяются алгоритмы составления робастных корреляционных матриц $\bar{R}_{gg}^R(\mu)$ по выражению (38), а также алгоритмы решения задачи идентификации динамики и вычисления робастных передаточных функций $W_{ij}^R(\mu)$ из матричного уравнения (41), (42).

По полученным оценкам (38), (41), (42) сигналов $g_j(i\Delta t)$ форми-

руется эталонное множество $Z4_X^R$, характеризующее робастные динамические характеристики $W_{ij}^R(\mu)$ и динамические характеристики $W_{ij}(\mu)$ зашумленных сигналов:

$$Z4_X^R = \begin{bmatrix} W_{11}^R(\mu) & W_{12}^R(\mu) & \dots & W_{1n}^R(\mu) \\ W_{21}^R(\mu) & W_{22}^R(\mu) & \dots & W_{2n}^R(\mu) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_{m1}^R(\mu) & W_{m2}^R(\mu) & \dots & W_{mn}^R(\mu) \\ W_{11}(\mu) & W_{12}(\mu) & \dots & W_{1n}(\mu) \\ W_{21}(\mu) & W_{22}(\mu) & \dots & W_{2n}(\mu) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_{n1}(\mu) & W_{n2}(\mu) & \dots & W_{nn}(\mu) \end{bmatrix}, \quad (58)$$

а также результирующее эталонное множество, состоящее из множеств

$$Z1_X^R, Z2_X^R, Z3_X^R, Z4_X^R: Z_X^R = \{Z1_X^R, Z2_X^R, Z3_X^R, Z4_X^R\}. \quad (59)$$

При создании системы каждый из объектов $O_{11}, O_{12}, \dots, O_{1m}, O_{21}, O_{22}, \dots, O_{2m}, \dots, O_{n1}, O_{n2}, \dots, O_{nm}$ снабжается локальным блоком («черным ящиком») на базе контроллера и соответствующих датчиков $D_{11}, D_{12}, \dots, D_{1m}, D_{21}, D_{22}, \dots, D_{2m}, \dots, D_{n1}, D_{n2}, \dots, D_{nm}$, установленных в наиболее уязвимых конструкциях объекта. Сигналы $g_{11}(i\Delta t), g_{12}(i\Delta t), \dots, g_{1m}(i\Delta t), g_{21}(i\Delta t), g_{22}(i\Delta t), \dots, g_{2m}(i\Delta t), \dots, g_{n1}(i\Delta t), g_{n2}(i\Delta t), \dots, g_{nm}(i\Delta t)$ от каждого объекта после первичной обработки на контроллере локальной системы через модемы и средства радиосвязи передаются в модем центральной системы помехомониторинга. В процессе функционирования центра мониторинга системы сигналы, представленные в цифровом виде, по радиосвязи через модем принимаются от объектов мониторинга и передаются поочередно на входы блоков анализа помехи; оценок информативных признаков; базы сейсмических, геологических, геофизических и др. информативных признаков; анализа сигналов от сейсмодатчиков; сейсмологических эталонных множеств; принятия решения и на сейсмо-

станцию.

Система функционирует в четырех режимах. При функционировании системы в первом, втором и третьем режимах на начальном этапе проводится обучение. Для этого в блоке 2 по выражениям (33)-(36), (52)-(59) определяются величины текущих оценок $D(g)$, $D^*(\varepsilon)$, $D(X)$, $R_{gg}^R(\mu)$, a_n^R , b_n^R , a_{n_g} , b_{n_g} , $\bar{R}_{XX}^R(0)$, c_{ij}^R , $\bar{R}_{gg}^R(\mu)$, $W_{ij}^R(\mu)$, $W_{g_i g_j}(\mu)$ $W[D^*(\varepsilon)]$. Они запоминаются как эталонные величины. Для них также устанавливаются диапазоны возможных минимального, среднего и максимального отклонений.

После этапа обучения система переходит в режим мониторинга, и текущие оценки сравниваются с соответствующими эталонными величинами. Во втором режиме только при одновременном обнаружении отклонения выше минимального диапазона оценок сигналов, полученных от близко расположенных групп объектов, формируется сигнализация о начале оползня. Третий режим отличается от второго тем, что при этом сигнализация о начале аномальных сейсмических процессов формируется при одновременном обнаружении отклонения выше минимального диапазона оценок сигналов от нескольких групп объектов, расположенных на значительных расстояниях друг от друга. В четвертом режиме в процессе обучения в блоке 14 по технологиям, широко применяемым сейсмологами, осуществляется анализ сигналов, получаемых от сейсмодатчиков, установленных на контролируемых объектах. Кроме того, в системе также предусмотрены видеонаблюдение территории расположения объекта и контроль за нарушением техники безопасности.

Отмечено, что в настоящее время «Безопасный интеллектуальный город» должен содержать систему регулирования региональным развитием на базе современных информационных технологий, а также систему мониторинга изменения сейсмостойкости и технического состояния социально-значимых объектов с подсистемой оценки профессиональных качеств обслуживающего персонала методом нечеткого логического вывода. Поэтому предложены *принципы построения распределенной системы noise-мониторинга (помехомониторинга) микроизменений сейсмостойкости и технического состояния социально-значимых объектов на ранней стадии их зарождения в*

сейсмоактивных регионах по вычисленным оценкам помех зашумленных сигналов, получаемых на выходах датчиков. Отмечено, что в реальной жизни в сейсмических регионах при эксплуатации некоторых социально-значимых объектов после определенного промежутка времени T_0 нормального функционирования в силу различных причин наступает период T_1 их скрытого перехода в аварийное состояние. Довольно часто это происходит в результате маломощных землетрясений, что приводит к изменению их сейсмостойкости. В результате последующих маломощных землетрясений, ураганных ветров с ливневыми дождями, они переходят во временной интервал T_2 явно выраженного аварийного состояния.

Несмотря на различия длительности времени T_0 , T_1 , T_2 , задача мониторинга в рассматриваемых случаях сводится к обеспечению надежной индикации начала времени T_1 периода скрытого изменения сейсмостойкости объекта или начала периода зарождения аномальных сейсмических процессов.

В рассматриваемую систему входят центр мониторинга (ЦМ) и локальные устройства помехомониторинга сейсмостойкости (ЛУПС) $L_{11}, L_{12}, \dots, L_{1n}, \dots, L_{nm}$, которые устанавливаются во всех контролируемых социально-значимых строительных объектах. На рис. 3 совокупность ЛУПС-ов с передающими антеннами представляет собой распределенную систему помехомониторинга сейсмостойкости социально-значимых объектов.

ЛУПС-ы функционируют автономно. В процессе функционирования системы мониторинга из характеристик сигналов формируются множества информативных признаков Z_x^R , которые используются как удобные и надежные индикаторы:

$$Z1_X^R = \begin{bmatrix} D^*(\varepsilon_1) & D^*(\varepsilon_2) & \dots & D^*(\varepsilon_n) \\ \lambda_{a_{11}}^R & \lambda_{a_{12}}^R & \dots & \lambda_{a_{1n}}^R \\ \lambda_{b_{11}}^R & \lambda_{b_{12}}^R & \dots & \lambda_{b_{1n}}^R \\ \lambda_{a_{21}}^R & \lambda_{a_{22}}^R & \dots & \lambda_{a_{2n}}^R \\ \lambda_{b_{21}}^R & \lambda_{b_{22}}^R & \dots & \lambda_{b_{2n}}^R \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{a_{k1}}^R & \lambda_{a_{k2}}^R & \dots & \lambda_{a_{kn}}^R \\ \lambda_{b_{k1}}^R & \lambda_{b_{k2}}^R & \dots & \lambda_{b_{kn}}^R \end{bmatrix}, \quad (60)$$

В случае изменения сейсмостойкости объекта некоторые элементы этих множеств будут отличаться от нуля. Этот момент будет зарегистрирован и передан по радиоканалу соответствующего ЛУПС-а на сервер центра мониторинга.

Кроме того, для повышения достоверности результатов мониторинга целесообразно также формировать множества индикаторов из робастных оценок авто и взаимно корреляционных функций $R_{X_i X_j}^R(\mu)$

сигналов $g_1(i\Delta t)$, $g_2(i\Delta t)$, ..., $g_m(i\Delta t)$ в виде:

$$Z2_X^R = \begin{bmatrix} R_{X_1 X_1}^R(\mu') & R_{X_1 X_2}^R(\mu') & \dots & R_{X_1 X_n}^R(\mu') \\ R_{X_2 X_1}^R(\mu') & R_{X_2 X_2}^R(\mu') & \dots & R_{X_2 X_n}^R(\mu') \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{X_n X_1}^R(\mu') & R_{X_n X_2}^R(\mu') & \dots & R_{X_n X_n}^R(\mu') \end{bmatrix}, \quad (61)$$

где μ' - временные сдвиги между $g(i\Delta t)$ и $g(i + \mu')\Delta t$, при которых оценки $R_{X_i X_j}^R(\mu')$ в период времени T_0 будут равны нулю.

В момент нарушения сейсмостойкости отличие даже одного элемента этих множеств от нуля в ЛУПС-е каждого социально-значимого объекта воспринимается как начало периода времени T_1 . При этом по номерам множества, столбца и строки, отличного от нуля информативного признака, можно идентифицировать место и характер деформации в данном социально-значимом объекте. Одновременно с этим

ЛУПС также сигнализирует об этом сервер центра мониторинга.

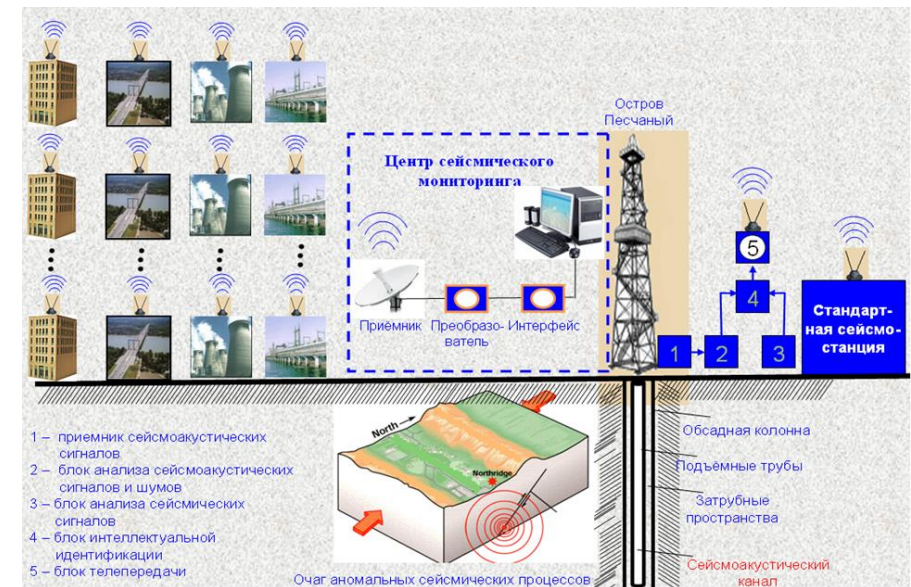


Рис. 3 Распределенная система noise-мониторинга микроизменений сейсмостойкости и технического состояния социально-значимых объектов в сейсмоактивных регионах

Кроме этого, в каждом ЛУПС-е из отсчетов сигналов $g_1(i\Delta t)$, $g_2(i\Delta t)$, ..., $g_m(i\Delta t)$ каждого объекта в каждом цикле формируются файлы. Они совместно с множествами (60), (61) через модемы и средства радиосвязи передаются в модем сервера центра мониторинга. При повторных циклах, если текущие оценки неоднократно отличаются от эталонных, на сервере принимается решение отнести данный объект к группе, требующей привлечения мобильных систем контроля и диагностики, при помощи которых производится окончательный анализ, а также принятие решения.

В случае обнаружения одновременного отклонения сейсмостойкости от нормальной у близко расположенных групп социально-значимых объектов, на сервере формируется сигнализация о начале оползня.

Рассмотрены основные методы и особенности передачи и безопасности данных в распределенных системах помехомониторинга сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах.

В шестой главе разработана автономная информационная система технического мониторинга жилых зданий и социально значимых объектов. Приведена концепция информационной системы технического мониторинга строительных объектов (ТМСО).

Разработана структура глобальной информационной системы ТМСО. Описан принцип работы блока систематизации, который проводит нейронную диагностику состояния несущих конструкций строительных объектов.

Построена нейросетевая модель для мониторинга технического состояния здания. Приведена структурированная нейросетевая модель для диагностирования деструктивных изменений в несущих конструкциях сооружения.

Описан принцип трёхфазовой идентификации нейросетевой модели системы агрегирования сигналов (САС). Представлена схема нейронной идентификации САС.

Дан принцип нечёткого анализа технического состояния строительного объекта. Определены уровни для оценки технического состояния объекта: «соответствует норме»-«чуть выше нормы»-«существенно выше нормы», «опасные»-«угрожающие». Сформулированы критерии оценки технического состояния объекта в виде следующих нечётких множеств: ПРИЕМЛЕМЫЕ (контактные напряжения), НОРМАТИВНЫЕ (деформации фундаментной плиты), НЕ МЕНЯЮТСЯ (деформации вертикальных несущих конструкций на четырех уровнях по вертикали), ДОПУСТИМЫЕ (моменты вертикальных несущих конструкций на четырех уровнях по вертикали).

Основные результаты, полученные при решении задач в рамках диссертационной работы:

- 1) на основе анализа сейсмических сигналов разработаны технологии определения скрытого периода изменения сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах, которые состоят из алгоритмов: вычисления характеристик помехи; корреляционного и спектрального мониторинга; улучшения обусловленности корреляционных матриц при решении задач идентификации статики и динамики;

мониторинга с помощью множеств информативных признаков;

2) созданы локальные простые, доступные, недорогие и надежные устройства мониторинга сейсмостойкости и контроля технического состояния строительных сооружений, позволяющие при маломощных землетрясениях контролировать техническое состояние и изменение сейсмостойкости нескольких тысяч строительных объектов одновременно (параллельно);

3) для распараллеливания мониторинга из локальных устройств сформирована робастная распределенная общегородская система мониторинга сейсмостойкости и контроля технического состояния строительных сооружений;

4) для обеспечения взаимосвязи с локальными устройствами, получения, анализа информации и принятия решения по каждому локальному устройству созданы центр мониторинга и сервер, который обеспечен техническими характеристиками каждого контролируемого здания, результатами предыдущего процесса контроля и мониторинга, эталонными оценками, полученными от типичных зданий, обладающих наиболее высокой степенью сейсмостойкости;

5) каждое локальное устройство и вся распределенная система в целом обеспечены технологией анализа помехи и условием робастности полученных результатов для выявления начала скрытого периода нарушения сейсмостойкости;

6) со стороны системы обеспечен мониторинг оползня путем анализа результатов мониторинга строительных объектов, расположенных на одних и тех же территориях; обнаружение изменения сейсмостойкости одновременно множества территориально близко расположенных зданий воспринят как процесс возникновения оползня;

7) в системе мониторинга и контроля использованы интеллектуальные методы обучения с применением нейросетевой технологии для распознавания микроизменений сейсмостойкости и технического состояния; для этой цели использованы технологии анализа помехи, поступающей от датчиков, как носителя информации.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих работах:

1. Алиев Э.Р., Абдуллаев Х.Х., Важнова И.А., Кулиев Г.Р., Дадашева З.М. О безопасности передачи данных в распределенных информационных сетях // Известия НАНА сер. Физ.техн. и мат. наук, т.ХХІ, «Информатика и проблемы управления», 2001, №2, с.21-25.

2. Аббасов А.М., Алгулиев Р.М., Алиев Э.Р. Стратегия информатизации в Азербайджане // Известия НАНА сер. Физ.техн. и мат. наук, т.ХХI, «Информатика и проблемы управления», 2001, №2, с.3-8.
3. Алиев Э.Р., Ахмедов И.М., Рахманов А.С., Ахундова М.Г. Об основных методах и особенностях передачи данных // Известия НАНА сер. Физ.техн. и мат. наук, т.ХХI, «Информатика и проблемы управления», №2, 2001, с.15-20.
4. Алиев Т.А., Алиев Э.Р. Информационная технология анализа помехи и принятия решения промышленных интеллектуальных системах / Пятый Международный симпозиум “Интеллектуальные системы. INTELS '2002”, с.14-16.
5. Алиев Т.А., Аббасов А.М., Алиев Э.Р., Гулиев Г.А. Способ мониторинга и прогнозирования землетрясений. Евразийский патент № 011003, приоритет изобретения-16 июня 2006 г.
6. Aliev T.A., Abbasov A.M., Aliev E.R., Guliyev G.A. Method for monitoring and forecasting earthquakes. Pub. No WO 2007/143799, International Filing Date – June 16, 2006.
7. Abbasov Ə.M., Əliyev E.R. Azərbaycanca E-hökumətin yaradılma prinsipləri // AMEA-nın xəbərləri, Fizika-Texnika və Riyaziyyat elmləri seriyası, cild XXVI, 2006, №3, с.121-126.
8. Aliev T.A., Abbasov A.M., Aliev E.R., Guluev G.A. Technology and systems for Generating and Analyzing Information from deep strata of the Earth for the Purpose of Interference monitoring of the Technical state of Major Structures // Automatic Control and Computer Sciences, 2007, vol. 41, no.2, p.59-67.
9. Aliev T.A., Aliev E.R. Technology of noise analysis and monitoring of defect origin / 3-rd International Conference on Information Technologies & Tele-communication, (ИТ & ТЪ-2007) Ganja, Azerbaijan, October 4-6 2007, p.11-16.
10. Алиев Э. Р., Масталиева Д.И., Рзаева У.Э.. Адаптивная аппаратно-программная технология дискретизации зашумленных сигналов // Известия НАН Азерб., сер. Физ. техн. и мат. наук, т.ХХVII, 2007, №2-3, с.162-167.
11. Алиев Т.А., Алиев Э.Р., Масталиева Д.И., Рзаева У.Э. Цифровая помехотехнология анализа коррелированных сигналов // Известия НАН Азерб., сер. Физ. техн. и мат. наук, т.ХХVII, 2007, №2-3, с.134-138.

12. Алиев Э.Р. Цифровая система испытания и контроля качества строительных работ в сейсмоактивных регионах // Известия НАН Азерб., сер. Физ. техн. и мат. наук, т. XXVII, 2007, №2-3, с.201-205.
13. Aliev T.A., Aliev E.R. Technology of noise analysis and monitoring of defect origin, Applied and Computational Mathematics // An International journal. 2007, Vol. 6, №2, p.246-252.
14. Алиев Т.А., Мамедова Г.Г., Алиев Э.Р. Проблемы мониторинга технического состояния высотных зданий и стратегических объектов сейсмических регионов / IV Beynəlxalq simp. "Fövqəladə hallarda təhlükəsizliyin idarə olunması", Bakı, 15-16 noyabr 2007-ci il, s. 3-13.
15. Aliev T.A., Mammadova G.H., Aliev E.R. Digital Technology and system of noise monitoring of failure origin. Natural Cataclysms and Global Problems of the modern civilization // Special edition of Transactions of the International Academy of Science H & E, Baku-Innsbruck-2007, p.41-51.
16. Алиев Т.А., Алиев Э.Р., Кадымов Р.М., Рзаева У.Р. Теоретические и прикладные проблемы анализа зашумленных сигналов / İnformasiya-kommunikasiya texnologiyaları və elektron təhsillin aktual problemləri Elektron idarəetmə. Elmi-praktik konfransın materialları, Gəncə, 29-30 noyabr 2007-ci il, s.3-15.
17. Алиев Т.А., Алиев Э.Р., Масталиева Д.И., Рзаева У.Э. Адаптивная аппаратно-программная технология дискретизации зашумленных сигналов / IV Beynəlxalq simpozium "Fövqəladə hallarda təhlükəsizliyin idarə olunması" Bakı, 15-16 noyabr 2007-ci il, s. 94-96.
18. Aliev T.A., Aliev E.R. Interference technology of Early Control of defect origin in technical objects / Proceegings of the 2007 Industrial Engineering Research Conference G.Bayraksan. W.Lin. Y. Son. And R.Wysk.ed., p.682-687 (Critical Role in a Flat World IIE Annual Conference & Expo 2007, may 19-23, Nashville, Tenn.)
19. Musaeva N.F., Aliev E.R., Mastaliyeva D.I., Rzaeva U.E. Correlation Indicators of failures origin. Natural cataclysms and Global problems of the modern civilization // Special edition of Transactions of the International Academy of Science H & E, Baku-Innsbruck-2007, p.600-603.
20. Алиев Т.А., Аббаов А.М., Алиев Э.Р., Гулиев Г.А. Цифровая технология и система получения и анализа информации от глубинных пластов земли с целью помехомониторинга технического состояния социально-значимых объектов // Автоматика и вычислительная техника, Рига, 2007, №2, с.3-15.

21.Алиев Э.Р., Рзаев Р.Р. Вычисление и прогнозирование секторальных индексов соционально-экономического развития регионов // Волнинский математический вестник. Серия прикладная математика. Выпуск 5(14), 2008, с.277-298.

22.Aliyev T.A., Aliyev E.R., Mastaliyeva D.I., Rzayeva U.E. Adaptive technology of the Sampling of Noise-Corrupted Signals // Automatic Control and Computer Sciences, Allerton Press, Inc., New York (2008), Vol. 42, No.1, p. 20-25.

23.Aliev T.A., Aliev E.R. Multichannel Telemeter System of Seismoaural noise Monitoring of Earthquakes // Automatic Control and Computer Sciences, Allerton Press, Inc., New York (2008), Vol. 42, No.4, pp. 223–228.

24.Алиев Т.А., Алиев Э. Р., Масталиева Д.И., Рзаева У.Э. Адаптивная технология дискретизации зашумленных сигналов // Автоматика и вычислительная техника, Рига, 2008, №1, с.29-37.

25.Алиев Т.А., Алиев Э.Р. Интеллектуальные распределенные системы помехо-мониторинга технического состояния высотных зданий городов сейсмоактивных регионов / VIII Международный симпозиум “Интеллектуальные системы” (INTELS,2008), 30.06-04.07.2008, с.35-39.

26.Алиев Т.А., Алиев Э.Р. Многоканальная телеметрическая система сейсмоакустическая помехомониторинга землетрясений // Автоматика и вычислительная техника, Рига, 2008, №4, с.81-88.

27.Musayeva N.F., Aliev E.R., Gadimov R.M., Mastaliyeva D.I., Rzayeva U.E. System of Monitoring high-altitude buildings with intellectual block of identification of abnormal seismic processes / The second International Conference “Problems of cybernetics and Informatics”. Baku, September 10-12 2008, Azerbaijan, Section №3, “Modeling and Identification”, p.86-88.

28.Əliyev T.A., Əliyev E.R., Nüsrətov O.Q., Quluyev Q.A., Paşayev F.H. Strateji və sosial əhəmiyyətli obyektlərin texniki vəziyyətlərinin paylanmış intellektual monitoring sistemi // Известия НАНА сер. Физ.техн. и мат. наук, т.ХХVIII, «Информатика и проблемы управления», 2008, №3, с.95-102.

29.Əliyev T.A., Əliyev E. R., Rzayev R.R. Sosial-iqtisad inkişaf səviyyələrinin ədədi qiymətləndirilməsi (seçilmiş sahələr üzrə) // Известия НАНА сер. Физ.техн. и мат. наук, т.ХХVIII, «Информатика и проблемы управления», 2008, №6, с.84-93.

- 30.Алиев Э.Р., Рзаев Р.Р. Государственное регулирование региональным развитием на базе современных информационных технологий // Системный анализ и информационные технологии, 2008, №1, с.166-171.
- 31.Aliyev E.R., Rzaev R.R. Calculation of sectoral regional development indexes / The second international conference “Problems of cybernetics and informatics”, Baku, September 10-12 2008, p.157-160.
- 32.Алиев Э.Р., Рзаев Р.Р. Государственное регулирование региональным развитием на базе современных информационных технологий // Доклады национальной академии наук Азербайджана, 2008, №1, с.162-171.
- 33.Алиев Т.А., Алиев Э.Р., Нусратов О.К., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г. Распределенная интеллектуальная система мониторинга технического состояния стратегически и социально значимых объектов // Известия НАНА сер. Физ.техн. и мат. наук, т.ХХVIII, «Информатика и проблемы управления», 2008, №3, с.95-102.
- 34.Алиев Э.Р., Рзаев Р.Р. Оценка профессиональных качеств служащих компании методом нечеткого логического вывода // Информационные технологии. 2009, №11, с.51-58.
- 35.Алиев Э.Р., Рзаев Р.Р. Агрегированная оценка работы служащих компании методом нечеткого вывода // Информационно-управляющие системы, 2009, №4, с.59-67.
- 36.Aliev E.R., Rzayev R.R. Fuzzy approach in implementation of a E-Government in the field of regional development regulation / International conference on e-Government and e-Governance “ICEGOV”, Ankara-Turkey, 12-13 March 2009, p.197-211.
- 37.Алиев Э.Р. Локальные автономные системы мониторинга технического состояния высотных зданий и социально-значимых объектов // Известия НАНА сер. Физ.техн. и мат. наук, т.ХХХ, «Информатика и проблемы управления», 2010, №6, с.89-96.
- 38.Алиев Э.Р. Комплексная информационная система мониторинга жилых зданий и социально значимых объектов // Мехатроника, автоматизация, управление, 2011, №8, с. 21-27.
- 39.Алиев Э.Р. Нечеткий анализ технического состояния строительного объекта // Известия НАНА сер. Физ.техн. и мат. наук, т.ХХХI, «Информатика и проблемы управления», 2011, №3, с.130-140.

40. Алиев Э.Р. Автономная информационная система технического мониторинга жилых зданий и социально-значимых объектов. Баку:Элм, 2011, 114 с.

41. Алиев Т.А., Аббасов А.М., Алиев Э.Р., Пашаев Ф.Г., Сатарова У.Э. Интеллектуальная распределенная система помехомониторинга сейсмостойкости строительных объектов и зарождения аномальных сейсмических процессов / Материалы Десятого международного симпозиума «Интеллектуальные системы». Россия, Вологда, Вологодский государственный технический университет. 25 – 29 июня 2012 г.

42. Naila Musaeva, Gulchohra Mammadova, Elchin Aliyev, Ulkar Sattarova. Methods, Technologies and Means of Control of Seismic Stability of Complexes of Construction Structures in Operation, PCI'2012 , IV international conference // “Problems of cybernetics and informatics ”, Seismic Devices, Systems and Technology, September 12-14, 2012, Baku, Azerbaijan, Volume II pp. 105-108.

43. Naila Musaeva, Elchin Aliyev, Ulkar Sattarova, Rauf Gadimov. Technology and Algorithms for Monitoring of the Technical Condition of High-Rise Buildings, Construction and Strategic Objects in Seismically Active Regions by Means of Sets of Informative Attributes // PCI'2012 , IV international conference “Problems of cybernetics and informatics ”, Seismic Devices, Systems and Technology, September 12-14, 2012, Baku, Azerbaijan, Volume II pp. 109-115

44. Naila Musaeva, Elchin Aliyev, Ulkar Sattarova, Narmin Rzayeva. Correlation Matrices in Problems of Identification of Seismic Stability and Technical Condition of High-Rise Buildings and Building Structures // PCI'2012 , IV international conference “Problems of cybernetics and informatics ”, Seismic Devices, Systems and Technology, September 12-14, 2012, Baku, Azerbaijan, Volume II pp. 116-123

45. Алиев Т.А., Гулиев Г.А., Алиев Э.Р., Бабаев Т.А., Ализаде Т.А., Сатарова У.Э. Технологии robust-noise мониторинга скрытого периода изменения сейсмостойкости морских стационарных платформ и эстакад // Мехатроника, автоматизация, управление (принята к печати).

46. Noise Technologies for Minimization of Damage Caused by Earthquakes // Naila Musaeva, Gulchohra Mammadova, Elchin Aliyev, Ulkar Sattarova. Methods, Technologies and Means of Control of Seismic Stability of Complexes of Construction Structures in Operation // Lambert Academic Publishing, 2012, pp.133-142

47. Noise Technologies for Minimization of Damage Caused by Earthquakes // Naila Musaeva, Elchin Aliyev, Ulkar Sattarova, Rauf Gadimov. Technology and Algorithms for Monitoring of the Technical Condition of High-Rise Buildings, Construction and Strategic Objects in Seismically Active Regions by Means of Sets of Informative Attributes. Lambert Academic Publishing, 2012, pp.144-155
48. Noise Technologies for Minimization of Damage Caused by Earthquakes // Naila Musaeva, Elchin Aliyev, Ulkar Sattarova, Narmin Rzayeva. Correlation Matrices in Problems of Identification of Seismic Stability and Technical Condition of High-Rise Buildings and Building Structures. Lambert Academic Publishing, 2012, pp.157-173
49. Алиев Т.А., Мусаева Н.Ф., Мамедова Г.Г., Алиев Э.Р., Саттарова У.Э. Методы, технологии и средства контроля сейсмостойкости эксплуатирующихся комплексов строительных сооружений // Помехотехнологии минимизации ущерба от землетрясений. LAP, Lambert Academic Publishing, стр. 139-149
50. Алиев Т.А., Мусаева Н.Ф., Алиев Э.Р., Рзаева Н.Э., Саттарова У.Э. Корреляционные матрицы при решении задач идентификации сейсмостойкости и технического состояния высотных зданий и строительных сооружений // Помехотехнологии минимизации ущерба от землетрясений. LAP, Lambert Academic Publishing, стр. 165-181
51. Мусаева Н.Ф., Алиев Э.Р., Кадымов Р.М., Саттарова У.Э. Технология и алгоритмы мониторинга технического состояния высотных зданий, строительных и стратегических объектов в сейсмоактивных регионах с помощью множеств информативных признаков // Помехотехнологии минимизации ущерба от землетрясений. LAP, Lambert Academic Publishing, стр. 151-164
52. Алиев Т.А., Гулуев Г.А., Алиев Э.Р., Ализаде Т.А., Саттарова У.Э. / II Международная научно-практическая конференция «Новые технологии нефтегазодобыче», Баку, 6-7 сентября 2012, с.307-309.

Личный вклад соискателя в совместно опубликованных научных работах:

По теме диссертации опубликовано 52 работ. Их них 5 [12, 37-39] выполнены автором самостоятельно, в том числе монография. В остальных работах автором самостоятельно разработаны:
[1-3,7,21,30-32,34-36] – постановка задачи, модели и алгоритмы,
[4] – алгоритм принятия решений, [5,6] – способ мониторинга, [8-9,

11-16, 18-20, 46-52] – алгоритмы помехомониторинга,
[10, 17, 22, 24] – принципы дискретизации зашумленных сигналов,
[23, 25-29] – принципы функционирования систем мониторинга,
[33, 37-39, 41-45] – алгоритмы анализа зашумленных сигналов.

Elçin Rəşid oğlu Əliyev
TİKİNTİ OBYEKT LƏRİNİN SEYSMİK DAYANIQLIĞININ GİZLİ
DÖVRÜNÜN DƏYİŞMƏSİNİN ROBAST PAYLANMIŞ NOİSE-
MONİTORİNQ SİSTEMİNİN YARADILMASI

Xülasə

Azərbaycanın və Abşeron yarımadasının seysmiki vəziyyətinin xüsusiyyətləri nəzərdən keçirilmişdir. Seysmoaktiv regionlarda hündür binaların, tikinti və strateji obyektlərin seysmodayanıqlığı və texniki vəziyyətinin mövcud təyini metodları təsvir edilmişdir.

Korrelyasiya və spektral monitorinqin, informativ əlamətlər çoxluğunun köməyi ilə monitorinqin çətinlikləri, seysmoaktiv regionlarda hündür binaların, tikinti və strateji obyektlərin statika və dinamikasının identifikasiyası məsələsinin həlli zamanı korrelyasiya matrislərinin zəif asılılığının səbəbləri nəzərdən keçirilmişdir.

Seysmoaktiv regionlarda hündür binaların, tikinti və strateji obyektlərin seysmodayanıqlığı və texniki vəziyyətinin dəyişməsinin gizli dövrünün başlanmasının monitorinqinin aşağıdakı alqoritmləri hazırlanmışdır: küyün xarakteristikasının hesablanması; küylü siqnalların robast korrelyasiya və spektral xarakteristikalarının hesablanması; statika və dinamikanın identifikasiyası məsələsinin həlli zamanı korrelyasiya matrislərinin asılılığının yaxşılaşdırılması; informativ əlamətlər çoxluğunun köməyi ilə monitorinq.

Seysmoaktiv regionlarda hündür binaların, tikinti və strateji obyektlərin seysmodayanıqlığı və texniki vəziyyətini təyin etmək üçün hesablama eksperimentlərinin aparılması və eksperimental tədqiqatların texnologiyası işlənilib hazırlanmışdır.

Aşağıdakı noise-monitorinq sistem və texnologiyaları yaradılmışdır: küylü siqnalların diskretləşməsinin adaptiv aparat-proqram texnologiyası; seysmoaktiv regionlarda tikinti işlərinin keyfiyyətinin yoxlanılması və ona rəqəmsal nəzarət sistemi; tikinti strukturlarının seysmodayanıqlığı və texniki vəziyyətinin dəyişməsinin başlanmasının lokal noise-monitorinq sistemi; obyektlərin seysmodayanıqlığı və texniki vəziyyətinin intellektual noise-monitorinqi və anomal seysmiki proseslərin başlanmasının siqnalizasiyası sistemi; hündür binaların seysmodayanıqlığı və texniki vəziyyətinin ümumşəhər paylanmış intellektual noise-monitorinq sistemi; seysmoaktiv regionlarda sosial əhəmiyyətli obyektlərin seysmodayanıqlığı və texniki vəziyyətində baş verən mikrodəyişikliklərin robast paylanmış noise-monitorinq sistemi.

Yaşayış binalarının və sosial əhəmiyyətli obyektlərin texniki monitorinqinin müstəqil informasiya sistemi yaradılmışdır.

Elchin Rashid Aliyev

**ROBUST DISTRIBUTED SYSTEMS FOR NOISE MONITORING OF THE
LATENT PERIOD OF CHANGE IN SEISMIC STABILITY BUILDING
OBJECTS**

Summary

Peculiarities of seismic conditions of Azerbaijan and the Apsheron peninsula have been considered. Existing methods of determination of seismic stability of high-rise buildings, construction and strategic objects in seismically active regions have been described.

Complications of correlation and spectral monitoring, monitoring by means of sets of informative attributes have been considered, as well as reasons of ill conditionality of correlation matrices in solving of static and dynamic identification problems for high-rise buildings, construction and strategic objects in seismically active regions.

The following algorithms have been developed for monitoring of the beginning of the latent period of change in seismic stability and technical condition of high-rise buildings, construction and strategic objects in seismically active regions: calculation of noise characteristics; calculation of robust correlation and spectral characteristics of noisy signals; preconditioning of correlation matrices in solving of static and dynamic identification problems; monitoring by means of sets of informative attributes.

Technologies have been developed for experimental research and carrying out of computational experiments for determining seismic stability technical condition of high-rise buildings, construction and strategic objects in seismically active regions.

The following noise monitoring technologies and systems have been developed: adaptive hardware-software technology for sampling of noisy signals; digital system for quality control and test of construction works in seismically active regions; local system for noise monitoring of the beginning of change in seismic stability and technical condition of construction objects; intelligent system for noise monitoring of seismic stability and technical condition of objects and alarm for the beginning of anomalous seismic processes; citywide distributed intelligent system for noise monitoring of seismic stability and technical condition of high-rise buildings; robust distributed system for noise monitoring of microchanges in seismic stability and technical condition of socially significant objects in seismically active regions.

Independent information system for technical monitoring of residential buildings and socially significant objects has been developed.

Заказ 317 Тираж 100
Участок подготовки информационных материалов
Институт Кибернетики НАН Азербайджана
Г. Баку, ул. Б.Вахабзаде, 9.

Əlyazma hüququnda

ELÇİN RƏŞİD OĞLU ƏLİYEV

**TİKİNTİ OBYEKT LƏRİNİN SEYSMİK DAYANIQLIĞININ GİZLİ
DÖVRÜNÜN DƏYİŞMƏSİNİN ROBAST PAYLANMIŞ NOİSE-
MONİTORİNG SİSTEMİNİN YARADILMASI**

3338.01 – Sistemli analiz, idarəetmə və informasiyanın işlənməsi

Texnika elmləri doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim olunmuş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2013