

Əlyazması hüququnda

FƏHRAD HEYDƏR OĞLU PAŞAYEV

**ROBUST NOISE TEXNOLOGİYALAR ƏSASINDA SEYSMİK
PROSESLƏRİN MONİTORİNQİ ÜÇÜN İNTELLEKTUAL
SEYSMOAKUSTİK STANSİYALAR ŞƏBƏKƏSİNİN TƏDQIQI VƏ
İŞLƏNMƏSİ**

3338.01 - Sistemli analiz, idarəetmə və informasiyanın işlənməsi

Texnika elmləri doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim olunmuş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

BAKİ – 2016

На правах рукописи

ФАХРАД ГЕЙДАР ОГЛЫ ПАШАЕВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СЕТИ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ
МОНИТОРИНГА СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ
ROBUST NOISE ТЕХНОЛОГИЙ**

3338.01 - Системный анализ, управление и обработка информации

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук

БАКУ – 2016

Работа выполнена в Институте Систем Управления
Национальной Академии Наук Азербайджана

Научный консультант:

Академик НАН Азербайджана,
доктор технических наук, профессор

Т.А. АЛИЕВ

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, проф. Юсифов Салахеддин Имамели оглы
Доктор технических наук, проф. Кязимов Надир Мамадали оглы
Доктор технических наук, проф. Набиев Расим Насиб оглы

Ведущая организация: Институт Информационных Технологий
НАНА

Защита диссертации состоится « 24 » июня 2016 г. в 15⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 01.121 при Институте Систем Управления НАН Азербайджана по адресу: Б.Вахабзаде, 9, AZ 1141, Баку, Азербайджан.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Института Систем Управления НАН Азербайджана

Автореферат разослан «23» мая 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор философии по математике

А.Б.ПАШАЕВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы.

Как известно, в мировых научных учреждениях интенсивно ведутся исследования по изучению причин и природе возникновения землетрясений. Продолжается также изучение возможности получения всевозможной сейсмической информации из глубинных пластов земли. В анализе сейсмических сигналов, получаемых при землетрясении, применяются такие методы, как спектральный и корреляционный анализ, вейвлет-преобразование, нейронные сети, методы конечных элементов и др. Во всех этих исследованиях проблемы, связанные с прогнозированием землетрясений, остаются основным направлением научных работ. Разрабатываются и интенсивно развиваются методы решения инженерных вопросов, связанных с землетрясениями.

В настоящей диссертационной работе решается важная научно-прикладная проблема построения сети интеллектуальных сейсмоакустических станций мониторинга сейсмических процессов на основе robust noise (RN) технологий (сеть станций RNM SP), которая может быть использована сейсмологами, как инструментарий для краткосрочного прогнозирования землетрясений.

Степень изученности проблемы.

Проблемы, близкие к задачам настоящей диссертационной работы, интенсивно изучаются уже более ста лет (Cooper H.H., Kanamori H., Erdik M). Проанализированы причины и модели возникновения землетрясений и природных периодических сейсмических процессов (Khain V.Y, Мехтиев Ш., Халилов Э.). Организованы работы по мониторингу землетрясений по всему миру (Kadirov F).

Одним из возможных аналогов сети станций RNM SP можно считать системы раннего предупреждения о землетрясениях (системы РПЗ). Созданы и создаются различные модели и технологии, разработаны и внедрены многочисленные системы раннего предупреждения населения, модели и технологии быстрого реагирования спасательных сил соответствующих структур. На создание и поддержание этих систем тратятся огромные средства. Улучшением математической и алгоритмической основ систем РПЗ заняты многочисленные научные коллективы.

Актуален поиск новых путей решения проблем с применением интеллектуальных информационных технологий для анализа сейсмических и сейсмоакустических сигналов.

3

Следовательно, проведённую Институтом Систем Управления НАНА работу по созданию сети станций RNM SP, можно считать актуальной. Основой RN технологий является определение noise характеристик зашумлённого сейсмоакустического сигнала. Проведённые исследования показывают, что оценки noise характеристик зашумлённого сейсмоакустического сигнала меняются в начале сейсмического процесса и, тем самым, появляется возможность мониторинга.

Учитывая вышесказанное, в диссертационной работе ставятся и решаются следующие задачи:

1) Разработка структуры сети станций RNM SP, в том числе:

- Разработка структуры станций RNM SP, обеспечивающих прием и первичную обработку сейсмоакустических сигналов с применением RN технологий и передачей полученных результатов в мульти серверном режиме в реальном масштабе времени в Центр мониторинга (ЦМ) сейсмических процессов (СП);
- Разработка структуры Центра мониторинга сейсмических процессов, обеспечивающего обработку, индикацию, архивацию информации, полученной от станций RNM SP;
- Разработка структуры и программного обеспечения средств связи сети станций RNM SP;

2) Разработка технологий и алгоритмов мониторинга сейсмических процессов с применением RN технологий. Применение RN технологий к анализу сейсмоакустических сигналов определяет успех в создании сети станций RNM SP и мониторинга СП в регионе. Для построения сети станций RNM SP необходимо выполнение следующих работ:

- Обоснование преимуществ применения RN технологий к анализу сейсмоакустических сигналов;
- Разработка технологий определения информативных признаков скрытого периода зарождения СП;
- Разработка интеллектуальных технологий и системы выявления местонахождения зон очагов зарождения СП;

- Анализировать возможность определения приближенной величины магнитуды ожидаемого землетрясения с применением нейронной сети;

4

- Разработка гибридных алгоритмов функционирования сети станций RNM SP;
- Разработка алгоритмов мониторинга СП в сети станций RNM SP.

3) Учет характерных особенностей построения работы станций RNM SP. За характерные особенности принимается следующее:

- Определение особенностей выбора скважин для построения станции;
- Определение влияния моря и деятельности близлежащих объектов на результат работы станций RNM SP;
- Определение влияния глубины скважин на результат работы станций RNM SP;
- Определение особенностей группировки станций вокруг существующих очагов землетрясений.

4) Разработка программных средств, обеспечивающих организацию базы данных, анализа и индикации результатов сейсмического мониторинга в сети станций RNM SP, в состав которых входят следующие средства:

- Разработка программного модуля приёма результатов сейсмического мониторинга;
- Разработка программного модуля сглаживания сейсмоакустических характеристик;
- Разработка базы сейсмоакустических характеристик;
- Разработка модуля индикации сейсмоакустических характеристик;
- Анализ результатов заблаговременного выявления очагов ожидаемых землетрясений интеллектуальной системой с 01.01.2014 по 02.07.2014.

Впервые разработана и внедрена сеть станций RNM SP, которая позволяет осуществлять непрерывный мониторинг СП в регионе.

Целью работы является:

Разработка алгоритмов и программного обеспечения сети Robust Noise Monitoring станций для мониторинга СП на базе RN технологий

анализа сейсмоакустических сигналов, по результатам которых возможны:

- проведение мониторинга СП в регионе;
- определение зоны очагов СП и ожидаемых землетрясений.

5

Для достижения поставленной цели решены нижеперечисленные задачи:

- анализ современного состояния систем раннего предупреждения, краткосрочного прогнозирования землетрясений и постановка задачи диссертационной работы;
- разработка структуры сети станций RNM SP;
- обоснование преимущества и целесообразности применения RN технологий к анализу сейсмоакустических сигналов;
- разработка технологий определения информативных признаков скрытого периода зарождения СП;
- разработка интеллектуальных технологий и систем выявления местонахождения зон очагов зарождения СП;
- обоснование возможности определения приближенной величины магнитуды ожидаемого землетрясения с применением нейронной сети;
- разработка гибридных алгоритмов функционирования сети станций RNM SP;
- разработка алгоритмов мониторинга СП в сети станций RNM SP;
- определение характерных особенностей станций RNM SP;
- разработка программных средств сети станций RNM SP.

Методы исследования.

Работа выполнена на основе следующих методов исследования:

1. Принципы построения измерительно-информационных систем, систем контроля, диагностики и управления;
2. Теория вероятностей и математическая статистика;
3. Теория стохастических процессов;
4. Прикладные методы математического анализа;
5. Прикладные методы и технологии обработки сигналов;
6. Нейронные сети.

Научная новизна проведённых исследований и полученных в диссертационной работе результатов заключается в следующем:

- разработана структура станций RNM SP;
- разработана структура Центра мониторинга СП;
- разработана мультисерверная распределённая организация сети станций RNM SP;

6

- разработаны технологии определения информативных признаков скрытого периода зарождения СП;
- разработана интеллектуальная технология и система выявления зон очагов зарождения СП;
- показана возможность определения приближенной магнитуды ожидаемого землетрясения с применением нейронной сети;
- разработаны алгоритмы мониторинга СП в сети станций RNM SP;
- определены характерные особенности станций RNM SP в сети;
- определено влияние деятельности близлежащих объектов на оценки характеристик сейсмоакустических сигналов;
- определены комбинации станций RNM SP, которые реагируют при СП на соответствующие зоны очагов землетрясений.

Практическая значимость работы.

Научно-технические результаты диссертационной работы могут быть с успехом применены как инструментарий при выявлении зоны сейсмических процессов и также при мониторинге и изучении сейсмических процессов в глубинных пластах земли.

Реализация и внедрение результатов работы.

Разработанная технология и соответствующее программное обеспечение внедрялись ранее и успешно внедряются в настоящее время на многочисленных стратегических объектах республики:

1. Разработаны и Выполнены проекты, финансируемые научным фондом ГНКАР (2012-2014 годы):

- Создание сети сейсмоакустических станций робастного noise мониторинга аномальных сейсмических процессов на Южном Кавказе и в бассейне Каспийского моря с использованием законсервированных нефтяных скважин в качестве сейсмоакустического канала.

Начало проекта – октябрь 2012-го года.

- Создание системы интеллектуального мониторинга скрытого периода неисправностей компрессорного оборудования, используемого на магистральных нефтегазопроводах и предприятиях нефтегазовой отрасли.

Начало проекта – октябрь 2013-го года.

7

2. Разработан проект «Разработка технологии определения координат аномальных сейсмических процессов. STCU project 5601 (Science and Technology Center in Ukraine)».

Начало проекта – июнь 2012-го года.

3. Разработаны программы совместных работ НАН Азербайджанской Республики и ТУБИТАК Турецкой Республики:

- Creating an International Network of RNM SP stations;
- Prediction Models and Technologies of Possible Earthquakes via Monitoring and Analysis of Anomalous Seismic Processes.

4. Разработана программа совместных работ НАН Азербайджанской Республики и Арктической Академии Общественных Наук:

- Сейсмозащита нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан (ВСТО).

Задачи, поставленные и решённые в диссертационной работе, тесно связаны с тематическими планами Института Систем Управления НАНА. Полученные результаты входят в список важнейших результатов НАНА за 2010– 2012 годы.

Апробация работы.

Основные положения и результаты диссертационной работы были изложены на:

- Reduction of the risks of Emergency situation and notification of partners about Hyogo Framework for action. International Symposium, 25-26 november, Baku, 2010;
- IV-ой Международной конференции «Проблемы кибернетики и информатики» РСІ'20012, Баку, 12-14 сентября 2012г.;
- X Международном симпозиуме «Интеллектуальные системы», г. Москва, 25-29 июня 2012 г.;
- Международной выставке и научной конференции «Наука, техника и инновационные технологии в счастливой эпохе могучего государства», г. Ашхабад, 12-14 июнь 2012 г.;
- Научной конференции, посвященной 50-летию кафедры вычислительной математики Бакинского Государственного Университета, г. Баку, 15-16 ноября 2012 г.;

- The second World Conference on Soft Computing. Baku, 3-5 December, 2012;

8

- V международной конференции «Сейсмичность, прогноз землетрясений, устойчивость сооружений против землетрясений» посвященной 110-летию Шамахинского землетрясения, г. Баку, 8-12 октября 2012 г.;

- IV All-Ukrainian Scientific-Practical conference “Informatics and Systems sciences”, Poltava, 21-23 март 2013 г.;

- SE-50EEE International Conference on Earthquake Engineering – 9 to 31 May 2013 – Skopje;

- Science, Technology and Innovative Technologies in the prosperous epoch of the powerful state. International Conference, Ashgabad, 12-14 June 2013;

- International Conference on Energy, Regional Integration and Socio-economic Development. Baku, 5–6 September 2013;

- V All-Ukrainian Scientific-Practical conference. “Informatics and Systems sciences”, Poltava, 13-15 март 2014 г.;

- Seismology-earthquake engineering and Antelope Users Group meeting. Baku 29 to 31 May 2014;

- Развитие Арктической зоны России: Международное сотрудничество, экологические и социальные проблемы и их решения. Санкт Петербург, 25–26 сентября 2014 года.

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 48 научных работ, в том числе:

–статьи	28;
–в зарубежных журналах	9.
–патенты	3;
–материалы конференций	17;

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов и списка литературы, содержащего 246 наименований. Основная часть работы изложена на 227 страницах, содержит 4 таблицы и 62 рисунка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, приведены цели и задачи, поставленные в диссертационной работе.

Кроме того, во введении приведены методы исследования, основные положения, выносимые на защиту, научная новизна, публикации и структура диссертационной работы. Введение заканчивается краткой аннотацией о содержании работы.

В первой главе исследованы системы раннего предупреждения о землетрясениях. Проанализированы основные принципы построения систем раннего предупреждения о землетрясениях. Проанализированы наиболее известные системы раннего предупреждения. Среди них: Японская, Южнокорейская, Южно-Итальянская, Стамбульская и Американская системы РПЗ. Все указанные системы построены на основе следующих принципов:

1. Датчики устанавливаются вблизи известного очага землетрясения и, после главного удара определяются параметры землетрясения по наиболее известным методам и алгоритмам. Формируются сообщения по полученным данным и передаются по всем возможным информационными каналами;
2. Датчики устанавливаются вблизи крупных населенных пунктов и промышленных объектов. По принятию Р волн землетрясений делаются попытки определить силы и интенсивность землетрясений. Разработаны и разрабатываются многочисленные алгоритмы определения параметров землетрясений по принятию Р волн.

Проанализировано современное состояние краткосрочного прогнозирования с обоснованием необходимости разработки и внедрения новых информационных технологий, алгоритмов. Также обоснована необходимость проведения долгосрочного интенсивного мониторинга СП.

Проанализированы трудности краткосрочного прогнозирования землетрясений существующими методами и средствами. Показано, что известные трудности краткосрочного прогнозирования землетрясений существующими методами и средствами объясняются объективными причинами. Определены задачи диссертационной работы.

Во второй главе:

1. Определены требования для разработки структуры станций RNM SP и, на основе этих требований предложена структура станций, которая приведена на рис. 1.

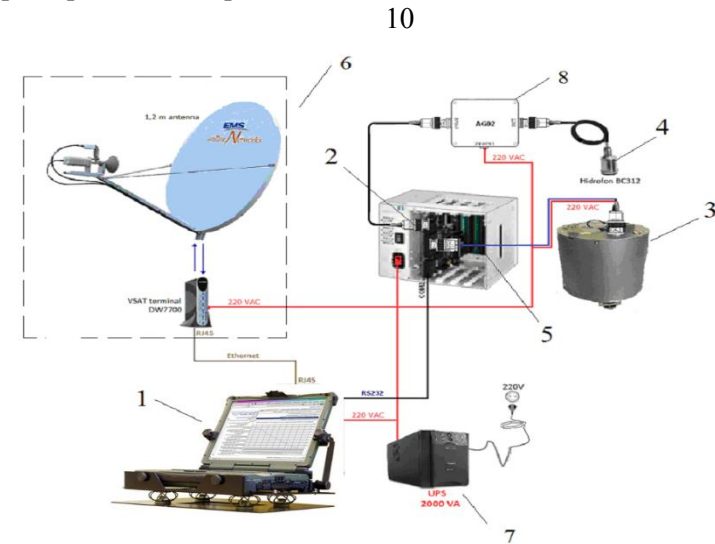


Рис 1. Структурная схема RNM SP станции

При этом, после длительных экспериментов, был произведен окончательный выбор гидрофона, сейсмического акселерометра, контроллера с преобразователями аналоговых сигналов в цифровых (АЦП) кодов. Пара гидрофона и АЦП должны были обеспечить прием сейсмоакустического сигнала по частоте 2000 Гц. Частота оцифровки и объем выборки установлены экспериментальным путём. Объем выборки должен был обеспечить применение RN технологий обработки и спектрального разложения сигнала. Поэтому был определен объем выборки ровно 5 сек.

- RNM SP станция должна обеспечивать приём зашумленного сейсмоакустического сигнала от гидрофона по частоте, которая обеспечит получение оценок информативных признаков с применением RN технологий обработки;
- RNM SP станция должна обеспечивать приём сейсмических сигналов от сейсмических акселерометров по частоте, которая обеспечит спектральное разложение сигнала до 100Гц;

- Программное обеспечение контроллера станций RNM SP должно обеспечивать on-line прием, первичную обработку и передачу сигналов длиной 5 сек. в компьютер станции;
- Программное обеспечение компьютера станции должно обеспечивать:
 - приём сейсмоакустических и сейсмических сигналов в режиме on-line;

11

- первичную обработку сигналов с применением традиционных технологий;
- первичную обработку с применением RN технологий;
- индикацию результатов первичной обработки;
- формирование вектора сейсмоакустических характеристик мониторинга сейсмических процессов;
- надёжную Интернет-связь с Центром Мониторинга сейсмических процессов;
- мульти серверную передачу сейсмоакустических характеристик.

2. Определены требования для разработки структуры Центра Мониторинга сейсмических процессов.

3. Разработаны средства связи сети станций RNM SP.

4. Разработана мультисерверная организация сети станций RNM SP в среде распределенной системы сбора сейсмоакустических сигналов.

В третьей главе:

1. Определены предпосылки применения RN технологий к анализу сейсмоакустических сигналов. Общеизвестно, что время нормального сейсмического состояния T_0 обычно бывает длительным и длится до начала нового сейсмического процесса.

Время T_1 скрытого периода подготовки землетрясению длится 10-40 часов и более. А время T_2 землетрясения измеряется секундами. Несмотря на различия в длительности времени T_0 , T_1 , T_2 задача мониторинга в рассматриваемых случаях сводится к обеспечению

надёжной индикации начала времени T_1 скрытого периода зарождения СП.

При нормальном сейсмическом состоянии в период времени T_0 для зашумленного сейсмоакустического сигнала $g(i\Delta t) = X(i\Delta t) + \varepsilon(i\Delta t)$, получаемых на выходе гидрофона установленного на устье нефтяных скважин, выполняются известные классические условия, т.е. справедливы равенства:

12

$$\omega_{T_0} [g(i\Delta t)] = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_g}} e^{-\frac{(g(i\Delta t))^2}{2D_g}}, \quad D_\varepsilon \approx 0, \quad D_g \approx D_X; \quad R_{gg}(\mu) \approx R_{XX}(\mu);$$

$$m_g \approx m_X \approx m_\varepsilon \approx 0; \quad R_{X\varepsilon}(\mu=0) \approx 0, \quad r_{X\varepsilon} \approx 0,$$

где $\omega_{T_0} [g(i\Delta t)]$ – закон распределения сигнала $g(i\Delta t)$; D_ε , D_X , D_g – оценки дисперсий помехи $\varepsilon(i\Delta t)$, полезного $X(i\Delta t)$ и суммарного $g(i\Delta t)$ сигналов соответственно; $R_{XX}(\mu)$, $R_{gg}(\mu)$ – оценки корреляционных функций полезного сигнала $X(i\Delta t)$ и суммарного сигнала $g(i\Delta t)$; m_ε , m_X , m_g – математические ожидания помехи $\varepsilon(i\Delta t)$, полезного и суммарного сигналов соответственно; $R_{X\varepsilon}(\mu=0)$, $r_{X\varepsilon}$ – взаимно корреляционная функция и коэффициент корреляции между полезным сигналом $X(i\Delta t)$ и помехой $\varepsilon(i\Delta t)$.

Однако, когда наступает скрытый период зарождения СП и во время землетрясений, выполнение условия равенства нарушается, т.е.:

$$\omega_{T_1} [g(i\Delta t)] \neq \omega_{T_0} [g(i\Delta t)], \quad D_\varepsilon \neq 0, \quad D_g \neq D_X,$$

$$R_{gg}(\mu) \neq R_{XX}(\mu), \quad m_g \neq m_X, \quad R_{X\varepsilon}(\mu=0) \neq 0, \quad r_{X\varepsilon} \neq 0.$$

При этом период нормального состояния T_0 заканчивается и начинается период T_1 . В результате из-за нарушения равенства нормальности статистические оценки сигнала $g(i\Delta t)$ определяются с некоторой погрешностью. По этой причине в течение периода времени T_1 в системах контроля затрудняется своевременное обнаружение

начальной стадии зарождения СП. Затем завершается период T_1 и наступает период времени T_2 , когда процессы начинают приобретать ярко выраженную форму. В известных системах, в основном, именно при этом, т.е. при достижении критического состояния, происходит регистрация СП.

2. Разработаны технологии определения информативных признаков скрытого периода зарождения СП. Сюда входят RN

13

технологии вычисления noise характеристик сейсмоакустических сигналов:

- определения оценки величин помехокоорреляции $R_{X\epsilon\epsilon}$

$$R_{X\epsilon\epsilon}(\mu=0) \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [g^2(i\Delta t) + g(i\Delta t)g((i+2)\Delta t) - 2g(i\Delta t)g((i+1)\Delta t)]$$

выражение получено при соблюдении условий:

$$\left. \begin{aligned} R_{gg}(\mu=1) &\approx R_{XX}(\mu=1) \\ R_{gg}(\mu=2) &\approx R_{XX}(\mu=2) \end{aligned} \right\} \text{ и}$$

$$R_{X\epsilon\epsilon}(\mu=0) \approx R_{gg}(\mu=0) + R_{gg}(\mu=2) - 2R_{gg}(\mu=1).$$

- определение оценки величины дисперсии помехи.

Понятно, что, зная оценку $R_{X\epsilon\epsilon}$, формулу для вычисления дисперсии полезного сигнала можно представить в виде:

$$D_X = D_g - R_{X\epsilon\epsilon}(\mu=0)$$

Принимая обозначение

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X^2(i\Delta t) = R_{XX}(\mu=0),$$

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 2[X(i\Delta t)\epsilon(i\Delta t)] = 2R_{X\epsilon}(\mu=0),$$

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \epsilon^2(i\Delta t) = R_{\epsilon\epsilon}(\mu=0) = D_\epsilon,$$

можно получить:

$$\left. \begin{aligned} R_{X\epsilon\epsilon}(\mu=0) &= 2R_{X\epsilon}(\mu=0) + R_{\epsilon\epsilon}(\mu=0) = 2R_{X\epsilon}(\mu=0) + D_\epsilon \\ D_\epsilon &= R_{X\epsilon}(\mu=0) - 2R_{X\epsilon}(\mu=0) \end{aligned} \right\}$$

Исследования показывают, что релейные характеристики сейсмоакустического сигнала легко осуществимы в различных вычислительных средах. Допуская равенство:

14

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \operatorname{sgn} \epsilon(i\Delta t) \cdot \epsilon(i+\mu) &= 0 \quad \text{при } \mu \neq 0 \\ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \operatorname{sgn} \epsilon(i\Delta t) \cdot \epsilon(i\Delta t) &\neq 0 \quad \text{при } \mu = 0 \end{aligned} \right\} \text{ формулу определения}$$

оценок релейной корреляционной функции $R_{gg}^*(\mu=0)$ представим в виде:

$$\begin{aligned} R_{gg}^*(\mu=0) &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \operatorname{sgn} g(i\Delta t)g(i\Delta t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \operatorname{sgn} g(i\Delta t) \cdot [X(i\Delta t) + \epsilon(i\Delta t)] = \\ &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\operatorname{sgn} g(i\Delta t) \cdot X(i\Delta t)] + [\operatorname{sgn} g(i\Delta t) \cdot \epsilon(i\Delta t)] = \\ &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \operatorname{sgn} g(i\Delta t)X(i\Delta t) + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \operatorname{sgn} g(i\Delta t) \cdot \epsilon(i\Delta t) = \\ &= \frac{1}{N} \sum \operatorname{sgn} X(i\Delta t)X(i\Delta t) + \frac{1}{N} \sum \operatorname{sgn} X(i\Delta t)\epsilon(i\Delta t) = R_{XX}^*(\mu=0) + R_{X\epsilon}^*(\mu=0). \end{aligned}$$

Можно показать, что оценку релейной взаимно корреляционной функции $R_{X\epsilon}^*(\mu=0)$ можно определить из формулы:

$$R_{gg}^*(\mu=0) \approx R_{XX}^*(\mu=0) + R_{X\epsilon}^*(\mu=0),$$

$$R_{X\epsilon}^*(0) \approx R_{gg}^*(\mu=0) - R_{XX}^*(\mu=0).$$

Следовательно, выражение для вычисления оценки релейной взаимно-корреляционной функции $R_{X\epsilon}^*(\mu=0)$ между полезным

сигналом $X(i\Delta t)$ и ее помехой $\varepsilon(i\Delta t)$ можно представить в следующем виде:

$$R_{X\varepsilon}^*(\mu=0) \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\text{sgn } g(i\Delta t)g(i\Delta t) - 2 \text{sgn } g(i\Delta t)g((i+1)\Delta t) + \text{sgn } g(i\Delta t)g((i+2)\Delta t)].$$

В результате:

$$R_{X\varepsilon}(\mu=0) = \frac{R_{gg}(\mu=1)R_{X\varepsilon}^*(\mu=0)}{R_{gg}^*(\mu=1)} \quad 15$$

3. Разработана интеллектуальная технология и система выявления местонахождения очага зарождения СП. Сформирована База Знаний (БЗ) информативных признаков мониторинга СП:

БЗ имеет следующий вид:

$$W_1 \left\{ \begin{array}{ccccc} T_{11}^1 & T_{12}^1 & \dots & T_{19}^1 & M_1 \\ \Delta\tau_{12}^1 & \Delta\tau_{13}^1 & \dots & \Delta\tau_{19}^1 & M_1 \\ R_{1X\varepsilon}^1(\mu=0) & R_{2X\varepsilon}^1(\mu=0) & \dots & R_{9X\varepsilon}^1(\mu=0) & M_1 \end{array} \right\}$$

$$W_2 \left\{ \begin{array}{ccccc} T_{11}^2 & T_{12}^2 & \dots & T_{19}^2 & M_2 \\ \Delta\tau_{12}^2 & \Delta\tau_{13}^2 & \dots & \Delta\tau_{19}^2 & M_2 \\ R_{1X\varepsilon}^2(\mu=0) & R_{2X\varepsilon}^2(\mu=0) & \dots & R_{9X\varepsilon}^2(\mu=0) & M_2 \end{array} \right\}$$

...

$$W_{13} \left\{ \begin{array}{ccccc} T_{11}^{13} & T_{12}^{13} & \dots & T_{19}^{13} & M_{13} \\ \Delta\tau_{12}^{13} & \Delta\tau_{13}^{13} & \dots & \Delta\tau_{19}^{13} & M_{13} \\ R_{1X\varepsilon}^{13}(\mu=0) & R_{2X\varepsilon}^{13}(\mu=0) & \dots & R_{9X\varepsilon}^{13}(\mu=0) & M_{13} \end{array} \right\}$$

4. Разработана технология определения приближенной величины магнитуды ожидаемого землетрясения с применением нейронной сети. Входы нейронной сети определены noise характеристиками

сейсмоакустического сигнала. Выходы нейронной сети определены параметром «магнитуда» анализируемых землетрясений.

Входные значения сети будут средними значениями за время регистрации СП станциями. Допустим, если регистрация СП на станции длится от T_1 до T_2 , тогда:

$$x_1 = \frac{\sum_{t \in [T_1, T_2]} D_\varepsilon(t)}{T_2 - T_1}, x_2 = \frac{\sum_{t \in [T_1, T_2]} D_g(t)}{T_2 - T_1}, x_3 = \frac{\sum_{t \in [T_1, T_2]} R_{X\varepsilon}(t)}{T_2 - T_1}, x_4 = \frac{\sum_{t \in [T_1, T_2]} R_{gg}(t)}{T_2 - T_1}, \quad 16$$

$$x_5 = \frac{\sum_{t \in [T_1, T_2]} R_{X\varepsilon}(t)}{T_2 - T_1}, x_6 = \frac{\sum_{t \in [T_1, T_2]} R_{X\varepsilon\varepsilon}(t)}{T_2 - T_1}, x_7 = \frac{\sum_{t \in [T_1, T_2]} r_{X\varepsilon}(t)}{T_2 - T_1}, x_8 = \frac{\sum_{t \in [T_1, T_2]} R_{X\varepsilon}^*(t)}{T_2 - T_1}$$

5. Разработаны алгоритмы сети станций RNM SP на основе гибридных технологий. Сюда входят алгоритмы восстановления потерянных noise характеристик с применением AR, ARMA методов, алгоритмы определения скорости сейсмоакустических сигналов и т.д.

6. Разработаны алгоритмы мониторинга СП в сети RNM SP станций. Заключительные алгоритмы в сети состоят из:

- Алгоритмов контроллера станций RNM SP для приёма сейсмоакустических сигналов по адаптированным частотам в реальном масштабе времени, по выбранной длине сигнала для обеспечения требований, применяемых RN и традиционных технологий обработки;

- Алгоритмов компьютера станций RNM SP для приема сейсмоакустических сигналов в режиме on-line, обработка сигнала с применением RNM и традиционных технологий и вычисление сейсмоакустических характеристик:

- ✓ Среднее значение сигнала;
- ✓ Среднеквадратичное значение сигнала;
- ✓ Дисперсия сигнала;
- ✓ Дисперсия шума, не отделяя шум от зашумленного сигнала;
- ✓ Помехокорреляция шума и сигнала;
- ✓ Корреляция шума и сигнала;
- ✓ Коэффициента корреляции шума и сигнала.

- Алгоритмы формирования информативных сейсмоакустических векторов мониторинга СП в станциях RNM SP;

- Алгоритмы формирования ОЗУ ориентированной базы данных в станциях RNM SP;
- Алгоритмы мульти серверного обмена информацией на станциях RNM SP;
- Алгоритмы мониторинга СП в сервере Центра мониторинга аномальных сейсмических процессов:
 - ✓ Алгоритмы приёма сейсмоакустических характеристик и архивации в режиме on-line;
 - ✓ Алгоритмы on-line и off-line индикации сейсмоакустических характеристик на трёх мониторах;

17

✓ Алгоритмы подготовки входных и выходных данных для экспертной системы и нейронной сети определения зоны очага СП и магнитуды будущего прогнозируемого землетрясения.

Четвёртая глава посвящена определению характерных особенностей RNM SP станций:

1. Определены требования выбора скважин для построения станций RNM SP, например: глубина скважины, наличие воды в скважине, близость дорог и других необходимых коммуникаций, возможность построения Интернет связи. В результате построена сеть RNM SP станций для мониторинга СП (рис. 2.);

2. Проанализирована работа первых станций RNM SP Гум Адасы и Сиязань, определены особенности влияния Каспийского моря на сейсмоакустические характеристики станций. По результатам экспериментов было отмечено:

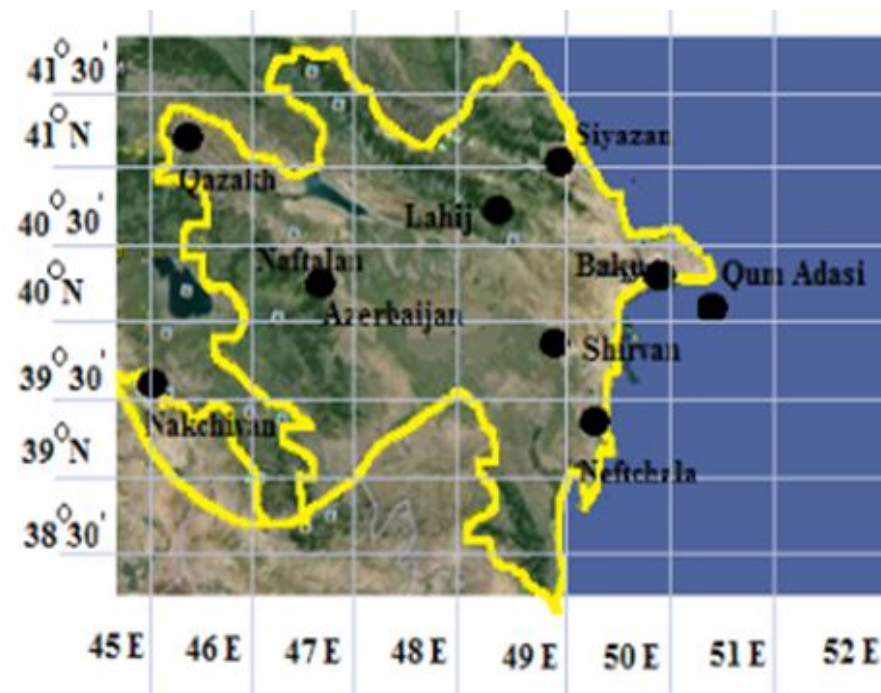


Рис.2. Географическая распределения сети RNM SP станций

- Станция фиксирует все СП, приводящиеся к землетрясениям в

18

радиусе 500-600 км;

- Время опережения главного удара составляет 10-20 часов, а иногда до полутора суток;
- Каспийское море действует как усиливающий фактор. Все сейсмоакустические сигналы, которые доходят до моря, улавливаются станцией.

3. Определены характерные особенности станций RNM SP, построенных на глубоких законсервированных скважинах. В частности отмечено, что отличительной чертой станции Ширван является то, что на ней отражаются многие сейсмические события в регионе. Особенно СП, происходящие в восточном регионе Турции, четко отражаются в показаниях станции (Рис.3.).

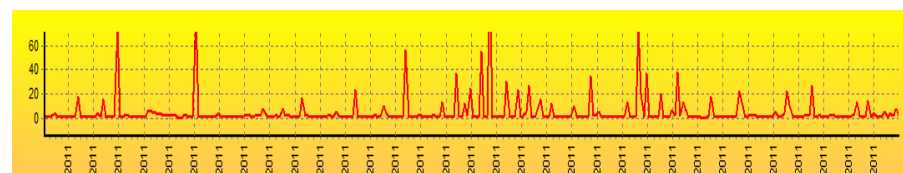


Рис. 3. СП в Ване 3-го октября 2011 г. в показаниях станции Ширван более чем 20 часов до землетрясения

4. Проанализированы результаты экспериментов на скважинах малой глубины. Такие скважины пробурены в Республике Туркменистан, в Казахском районе Азербайджана (селе Шыхлы-2), в селе Лагич Исмаиллинского района и в здании Института Систем Управления НАНА. Эти станции оказались информативными: результаты коррелируются с результатами других станций.

5. Определено влияние деятельности близлежащих объектов на оценки характеристик сейсмоакустических сигналов. По результатам анализа, влияние таких объектов было разбито на три группы: случайные кратковременные сигналы от случайных объектов; периодические сигналы от стационарных соседних объектов на одной станции; сигналы, связанные с производственной деятельностью человека и локальными сейсмическими событиями на одной станции (рис. 4). Определено, что такие сигналы и события не влияют на результаты мониторинга СП. Допустим, вероятность появления случайного сигнала $P(C)$.

19

Условная вероятность отражения при условии, что произошел сигнал, будет:

$$P(O \setminus C) = \frac{5}{60} = \frac{1}{12}$$

Таким образом, вероятность отражения случайного сигнала на информационных выходах будет:

$$P(O) = P(C) * P(O \setminus C) = \frac{1}{12} * P(C).$$

Полученный результат показывает, что технология опроса сейсмоакустического сигнала уменьшает вероятность отражения случайных сигналов на информационных выходах станций.

Рис. 4. Периодические отображения горных работ на информационных выходах Нахичеванской станции RNM SP

Исключение влияния работы близлежащих периодически работающих объектов:

- Выключить временно близлежащий периодически работающий объект;
- Определить коэффициенты разложения Фурье сейсмоакустического сигнала без влияния близлежащего объекта в виде A_n и B_n .
- Включить близлежащий периодически работающий объект;
- Заново определить коэффициенты разложения Фурье сейсмоакустического сигнала в виде A_{n1} и B_{n1} ;
- Определить разности коэффициентов:

$$\Delta A_n = A_{n1} - A_n, \Delta B_n = B_{n1} - B_n$$

20

- Определить новые коэффициенты разложения Фурье:

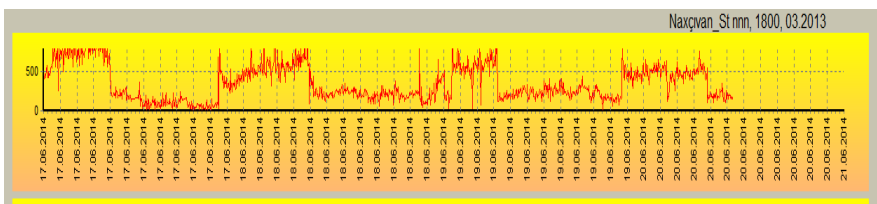
$$A_n = A_{n1} - \Delta A_n, B_n = B_{n1} - \Delta B_n$$

- Провести восстановление сигнала коэффициентами после корректировки.

6. Определены группировки станций RNM SP вокруг определенных очагов землетрясений. Интеллектуальные прогнозные работы по определению очага СП проводятся по результатам, полученным группами станций. Результаты станций вне группы участвуют как вспомогательные данные.

Пятая глава посвящена разработке программных средств сети станций RNM SP. В ней отражено следующее:

- Программный модуль приема результатов сейсмического мониторинга. Даны алгоритмы и описание алгоритмов модуля;
- Программный модуль сглаживания сейсмоакустических характеристик.



Известно, что low pass коэффициенты Добеши-4 (Д-4) вейвлета определяются коэффициентами:

$$h_0 = \frac{1+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, h_1 = \frac{3+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, h_2 = \frac{3-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, h_3 = \frac{1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}$$

Коэффициенты high pass определяются, как $g_k = (-1)^k h_{2N+1-k}$.

Отсюда

$$g_0 = (-1)^0 h_{3-0} = h_3, \quad g_1 = (-1)^1 h_{3-1} = -h_2, \quad g_2 = (-1)^2 h_{3-2} = h_1, \\ g_3 = (-1)^3 h_{3-3} = -h_0.$$

Таким образом:

$$g_0 = \frac{1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, g_1 = -\frac{3-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, g_2 = \frac{3+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, g_3 = -\frac{1+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}$$

Повторно применяя Low pass выходов, можно увеличить глубину преобразования. Представим, что мы имеем входные значения сигнала f_j ($j=0-2^m$). Тогда, преобразование можно провести по следующим алгоритмам:

$$a_{2,i} = h_0 a_{1,2i} + h_1 a_{1,2i+1} + h_2 a_{1,2i+2} + h_3 a_{1,2i+3}; i = 0 \div \frac{N}{2} - 1$$

21

$$a_{1,i} = h_0 f_{2i} + h_1 f_{2i+1} + h_2 f_{2i+2} + h_3 f_{2i+3}; i = 0 \div \frac{N}{2} - 1$$

$$a_{3,i} = h_0 a_{2,2i} + h_1 a_{2,2i+1} + h_2 a_{2,2i+2} + h_3 a_{2,2i+3}; i = 0 \div \frac{N}{2^3} - 1$$

...

$$a_{k,i} = h_0 a_{k-1,2i} + h_1 a_{k-1,2i+1} + h_2 a_{k-1,2i+2} + h_3 a_{k-1,2i+3}; i = 0 \div \frac{N}{2^k} - 1$$

На каждом уровне, high pass фильтр применяется таким образом:

$$c_{k,i} = g_0 a_{k-1,2i} + g_1 a_{k-1,2i+1} + g_2 a_{k-1,2i+2} + g_3 a_{k-1,2i+3}; i = 0 \div \frac{N}{2^k} - 1$$

Здесь $a_{0,2i+j} = f_{2i+j}; j = 0 \div 3$

После таких преобразований можно постепенно восстановить сигнал по следующим алгоритмам:

$$a_{k-1,0} = h_2 a_{k,0} + g_2 c_{k,0} + h_0 a_{k,1} + g_0 c_{k,1}$$

$$a_{k-1,1} = h_3 a_{k,0} + g_3 c_{k,0} + h_1 a_{k,1} + g_1 c_{k,1}$$

...

$$a_{k-1,2i} = h_2 a_{k,i} + g_2 c_{k,i} + h_0 a_{k,i+1} + g_0 c_{k,i+1}$$

$$a_{k-1,2i+1} = h_3 a_{k,i} + g_3 c_{k,i} + h_1 a_{k,i+1} + g_1 c_{k,i+1}$$

Алгоритм сглаживания на основе RN Technologies.

Если учесть приближительное равенство:

$$\varepsilon^0(i\Delta t) \approx \text{sgn}[\varepsilon'(i\Delta t) - \varepsilon''(i\Delta t)] \sqrt{|\varepsilon'(i\Delta t) - \varepsilon''(i\Delta t)|}$$

где

$$\varepsilon''(i\Delta t) = g^0(i\Delta t) g^0((i+1)\Delta t) + g^0(i\Delta t) g^0((i+3)\Delta t) - 2g^0(i\Delta t) g^0((i+2)\Delta t),$$

$$\varepsilon'(i\Delta t) = (g^0)^2(i\Delta t) + g^0(i\Delta t) g^0((i+2)\Delta t) - 2g^0(i\Delta t) g^0((i+1)\Delta t).$$

22

При отсутствии корреляции между шумом и сигналом можно применить формулу:

$$\mathcal{E}^0(i\Delta t) \approx \text{sgn}[\varepsilon'(i\Delta t)] \sqrt{|\varepsilon'(i\Delta t)|}$$

Следовательно, можно использовать нецентрированный сигнал и аналогично показать, что следующие рекуррентные преобразования дают сглаженные значения для $g(x)$:

$$\bar{g}(1) = g(1),$$

$$\bar{g}(i) = g(i) + \frac{1}{2}[(g(i+1) - g(i)) - (g(i) - \bar{g}(i-1))], \quad \text{для всех}$$

$$i \in [2, N-1].$$

Анализ алгоритма сглаживания на основе RN Technologies имеет следующие особенности:

- реализация алгоритма простая;
- не требует сохранения всех данных в ОЗУ процессора;

- сохраняет характерные особенности сигнала;
- можно применять на любом процессоре.

Алгоритмы применяются для сглаживания характеристик сейсмоакустических сигналов.

- Разработана база сейсмоакустических характеристик;
- Разработано on-line представление сейсмоакустических характеристик.

Программное обеспечения On_Line индикации сейсмоакустических характеристик станций RNM SP Qum Adasy, Siyezen, TURKMEN01, Neftchala (Ekr-01.exe). Эти станции связывает тот факт, что они находятся на берегу Каспийского моря.

Программное обеспечение On_Line индикации сейсмоакустических характеристик станций RNM SP Naftalan, Shirvan, Naxchvan, Shixli II (Ekr-02.exe).

Эти станции связывает тот факт, что они находятся на континентальной части (на суше) Азербайджана.

Программное обеспечение On_Line индикации сейсмоакустических характеристик станций RNM SP Kibernetik, временные и далекие станции (Ekr-03.exe).

Разработано программное обеспечение на основе группировок станций, которые находятся на территории Азербайджана:

✓ Программа East_Four_St.exe, которая обеспечивает индикацию сейсмоакустических характеристик от четырех станций: Siyezen, Qum Adasy, Neftchala, Kibernetik. Данная комбинация станций обеспечивает проведение совместного мониторинга СП, которые происходят на северо-востоке и востоке Азербайджана (рис.5.).

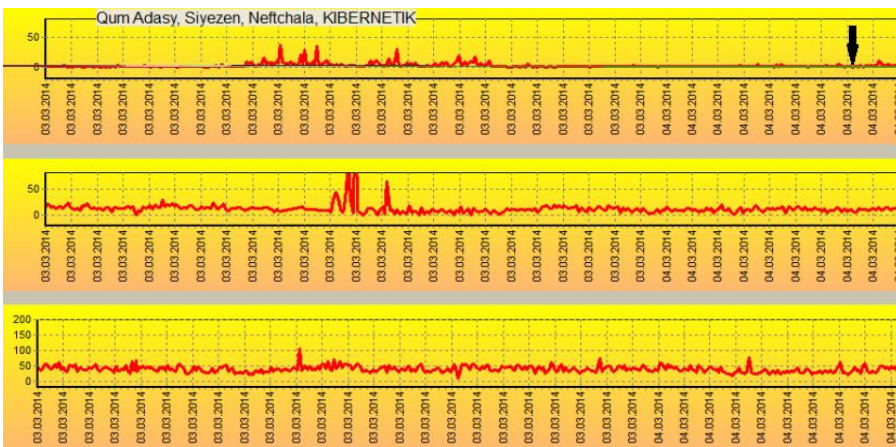


Рис. 5. Экран East_Four_St.exe

- Результаты выявления зоны очагов ожидаемых землетрясений интеллектуальной системой с 01.01.2014 по 02.07.2014.

Все результаты основываются на комбинациях индикаций СП группы станций.

Например, комбинация индикаций СП на станциях Гум Адасы, Ширван, Газах, Нахичевань (рис. 6) дала возможность определить зоны СП в регионе Ширван. Землетрясение, которое произошло 10 февраля 2014 г. в 12:06:48.0 по UTC подтвердило прогноз.

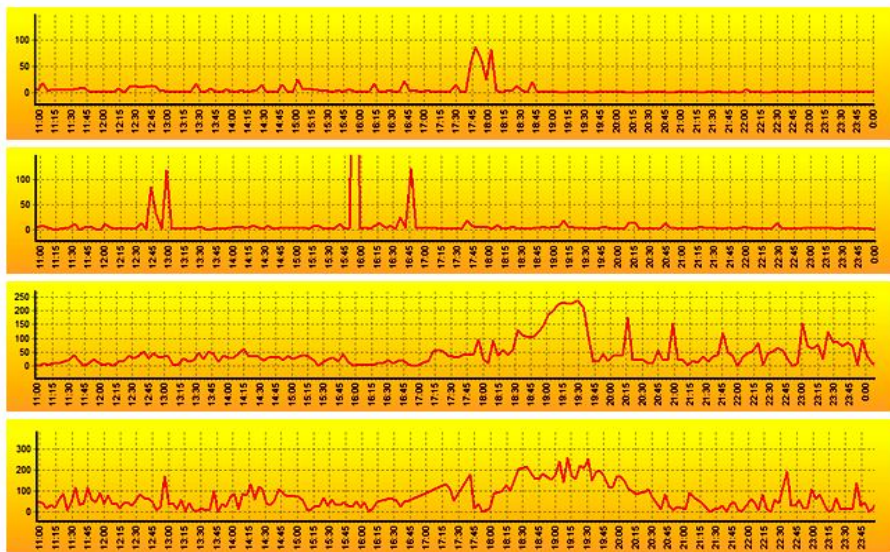


Рис. 6. 9 и 10 февраля 2014 г., Азербайджан: Гум Адасы, Ширван, Газах, Нахичевань

ОСНОВНЫЕ НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Основные научно-теоретические и практические результаты, полученные при решении задач в рамках диссертационной работы, заключаются в следующем:

1. Исследованы и проанализированы системы раннего предупреждения землетрясений и основные принципы построения систем раннего предупреждения землетрясений; современное состояние краткосрочного прогнозирования, трудности краткосрочного прогнозирования землетрясений существующими методами и средствами. Показано, что известные трудности краткосрочного прогнозирования землетрясений существующими методами и средствами связаны с объективными причинами. Обоснована необходимость разработки и внедрения новых информационных технологий, алгоритмов мониторинга СП.

2. Определены требования для разработки структуры станций RNM SP. Разработана структура станций RNM SP, программно-технические средства станций RNM SP.

3. Определены требования для разработки архитектуры Центра мониторинга сейсмических процессов и разработана структура ЦМ СП, программно-технические средства ЦМ СП.

4. Разработаны программно-технические средства связи сети станций RNM SP, как распределенной системы сбора и обработки сейсмоакустической информации в мульти серверной среде обмена информацией.

5. Определены предпосылки применения RN технологий к анализу сейсмоакустических сигналов. Показана необходимость разработки RN технологий и применения новых технологий для анализа сейсмоакустических сигналов.

6. Разработаны технологии определения информативных признаков скрытого периода зарождения СП. Сюда входят RN технологии вычисления noise характеристик сейсмоакустических сигналов.

7. Разработана интеллектуальная технология и система выявления местонахождения зоны очага зарождения СП. Сформирована база векторов информативных признаков мониторинга СП как база знаний для интеллектуальной системы выявления зоны очагов зарождения.

8. Показана возможность определения приближенной величины магнитуды ожидаемого землетрясения с применением нейронной сети.

9. Разработаны гибридные алгоритмы функционирования сети станций RNM SP на основе RN технологий и традиционных технологий.

10. Проанализированы характерные особенности станций RNM SP. По результатам анализа определяются требования для построения новых станций.

11. Определено влияние деятельности близлежащих объектов на оценки характеристик сейсмоакустических сигналов. Показано, что деятельность промышленных объектов мало отражается на сейсмоакустических характеристиках станций RNM SP. Разработаны алгоритмы для сепарации возможных отражений результатов деятельности близлежащих объектов.

Основное содержание диссертации изложено в следующих публикациях:

1. Джафаров Ф.Д. Кулиев Г.А, Пашаев Ф.Г «Об одном методе автоматизации диагностирования счетчиков с фиксированными частотными выходами»// **Приборы и системы управления, М., 1992, №3, с.37-39.**
2. Quluyev Q.A., Mamedov D.Q., Пашаев Ф.Г., Melikov R.A. «Принципы выбора технических средств для робастной информационной системы диагностики вибрационного состояния и прогноза аварий газоперекачивающих агрегатов» // **Известия НАНА, сер. Физ.-мат. и техн., 2005, №2, с. 203-208.**
3. Quluyev Q.A., Paşayev F.H., Ağayev B.S, Rəşidov M.A. «Telefon danışıqlarının uçotu və qeydiyyatı sisteminin bəzi proqram vasitələri haqqında» // **AMEA-nın Xəbərləri. Fiz.-Texn. və Riyaz. elmləri ser., Cild XXIX, №3, 2009, s.121-124.**
4. Əliyev Telman Abbas oğlu; Axundov Oqtay Vəli oğlu; Quluyev Qəmbər Ağaverdi oğlu; Paşayev Fərhad Heydər oğlu; Menyayeva Rimma Kayumovna; Məlikov Rasim Ağarza oğlu (AZ) “Qan damarlarının funksional indikasiyası üsulu”, 2010, **İxtira İ 2010 0036.**
5. Алиев Т.А., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г., Садыгов А.Б. «Принципы построения и функционирования глубинных сейсмоакустических станций» // **Reduction the risks of Emergency situation and notification of partners about HYUGO Framework for action. The International Symposium, Baku 25-26 november 2010.**
6. Алиев Т.А., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г., Садыгов А.Б. «Технология мониторинга скрытого периода появления корреляции между полезным сигналом и помехой технологических параметров»// **Доклады Национальной Академии Наук Азербайджана, 2010, том LXVI, №2 с. 28-35.**
7. Алиев Т.А., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г., Садыгов А.Б. «Помехоиндикация изменения динамического состояния производственных объектов» // **Доклады Национальной Академии Наук Азербайджана, 2010, Том LXVI, №3 с.20-28.**
8. Алиев Тельман Аббас оглы; Аббасов Али Мамед оглы; Нусратов Октай Гудрат оглы; Гулиев Гамбар Агаверди оглы; Пашаев Фахрад Гейдар оглы (AZ) «Способ управления периодическим режимом работы малодобитных скважин» **Евразийский патент № 013861, август 2010 .**

9. Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г., Масталиева Д.И., Саттаров И.Р., Рзаева Н.Э. «Специфические особенности преобразования и анализа резко изменяющихся аналоговых сигналов» // **Известия НАН Азербайджана, сер. Физ.-матем. и техн. наук, том XXX, № 3, 2010, с. 125-129.**
10. Telman Aliyev, Akif Ali-zada, Gurban Etirmishli, Gambar Guluyev, Fahrad Pashayev, Abbas Rzayev. Intelligent Seismoacoustic System for Monitoring the beginning of Anomalous Seismic Process. // **Seismic Instruments, 2011, Vol 47, No. 1, pp. 15-23.**
11. Алиев Т.А., Аббасов А.М., Ализаде А.М., Етирмишли Г.Д., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г. «Результаты экспериментов на сейсмоакустической станции на острове «Гум адасы»» // **Доклады Национальной Академии Наук Азербайджана, 2011, том LXVII, №1, с. 19-31.**
12. Алиев Т.А., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г., Садыгов А.Б. «Алгоритмы определения коэффициента корреляции и взаимно корреляционной функции между полезным сигналом и помехой зашумленных технологических параметров» // **Кибернетика и системный анализ, Киев, 2011, №3 с. 169-178.**
13. Алиев Т.А., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г., Саттаров И.Р., Рашидов М.А. «Интернет алгоритмы и программное обеспечение центров сейсмоакустического мониторинга» // **Известия НАН Азербайджана, сер. Физ.-матем. и техн. наук, том XXXI, № 3, 2011, с.184-189.**
14. Алиев Т.А., Нусратов О.К., Гулуев Г.А., Рзаев Ас.Г., Пашаев Ф.Г., Саттаров И.Р. Robust noise monitoring technology complex для мониторинга, диагностики и управления нефтяных скважин RNMT-C. // **Известия НАН Азербайджана, сер. Физ.-матем. и техн. наук, том XXXI, № 3, 2011, с.177-183.**
15. Алиев Тельман, Аббасов Али, Ализаде Акиф, Етирмишли Гурбан, Гулуев Гамбар, Пашаев Фархад. «Интеллектуальный мониторинг аномальных сейсмических процессов на острове Песчаный Каспийского моря с использованием робастной помехотехнологии» // **«Мехатроника, Автоматизация, Управление» №5, 2011, с. 22-28.**
16. Aliev T.A., Guluyev G.A., Pashayev F.H., Sadygov A.B.. Algorithms for determining the coefficient of correlation and cross-correlation function between a useful signal and noise of noisy technological parameters.// **Cybernetics and system analysis. Vol 47, Num. 3, May 2011, pp.481-489.**
17. Алиев Т.А., Гулуев Г.А., Рзаев Ас.Г., Пашаев Ф.Г., Юсифов И.Б., Саттаров И.Р. «Помехотехнология и система определения дебита

нефтяных скважин» // **Известия НАН Азербайджана, сер. Физ.-матем. и техн. наук, том XXXI, № 6, 2011, с.146-153.**

18. Алиев Т.А., Аббасов А.М., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г. «Система робастного мониторинга сейсмостойкости строительных объектов и зарождения аномальных сейсмических процессов» // **Известия НАН Азербайджана, сер. Физ.-матем. и техн. наук, том XXXII, № 3, 2012, с.23-36.**

19. Алиев Т.А., Аббасов А.М., Бабаев Т.А., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г. «Система робастного noise мониторинга сейсмостойкости строительных объектов и зарождения аномальных сейсмических процессов» // **Международная выставка и научная конференция «Наука, техника и инновационные технологии в счастливой эпохе могучего государства» Ашхабад, 2012г., изд. «Ылым» с. 9-11.**

20. 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» // **Десятый международный симпозиум «Интеллектуальные системы» INTELS'2012, с.18-23.**

21. Gambar Guluev, Fahrhad Pashayev, Majid Pakdel, Ulkar Sattarova. Prediction of Signal Characteristics Using Autoregressive Moving Average Method. / **IV International Conference “Problems of Cybernetics and Informatics” Volume II, September 12-14, 2012 Baku, Azerbaijan, pp. 102-104.**

22. Ali Abbasov, Telman Aliiev, Gambar Guluyev, Fahrhad Pashayev. Technology and System of Robust Noise Monitoring of Anomalous Seismic Processes. / **IV International Conference “Problems of Cybernetics and Informatics” Volume II, September 12-14, 2012 Baku, Azerbaijan, pp. 3-19.**

23. Aliev Telman, Abbasov Ali, Guluyev Gambar, Pashayev Fahrhad, Sattarova Ulker. Technologies and Systems for Minimization of Damage from Destructive Earthquakes. / **IV International Conference “Problems of Cybernetics and Informatics” Volume II, September 12-14, 2012 Baku, Azerbaijan, pp. 20-33.**

24. Aliev T.A., Abbasov A.M., Guluyev G.A., Pashayev F.H., Sattarova U.E. Technologies and systems for minimization of damage from destructive earthquakes. // **Seismoforecasting researches carried out in the Azerbaijan territory, Baku 2012, pp. 449-464.**

25. Aliev T., Abbasov A., Guluyev G., Pashayev F., Sattarova. Intelligent robust distributed system for monitoring and control of

seismic stability of high-rise buildings and monitoring of origin of anomalous seismic processes. / **The 2nd World Conf. on Soft Computing, December 3-5, 2012, Baku, p. 303-310.**

26. Aliev T.A., Guluyev G.A., Pashayev F.H., Sadygov A.B.. *Noise monitoring technology for objects in transition to the emergency state.* // **Mechanical Systems and Signal Processing, Volume 27, February 2012, pp. 755–762.**

27. Guluyev G.A., Pashayev F.H., Pakdel M., Sattarova U. Estimation of the seismic-acoustic noise propagation velocity. // **Transactions of ANAS, ser. of phys.-techn. and math. Sciences, Vol. XXXII, 2012, №6, p.28-33.**

28. Guluyev G.A., Gadimov R.M., Pashayev F.H., Pakdel M., Sattarova U. E. Determining coordinates of the focus of anomalous seismic processes. // **Transactions of Azerbaijan National Academy of Sciences Series of physical-technical and mathematical sciences, Vol XXXII, 2012, No3, pp.111-117.**

29. Telman Aliyev, Gambar Guluyev, Asif Rzayev, Fahrhad Pashayev, Rauf Gadimov, Ismat Sattarov. Robust Technology for Determining of Flow Rate of Oil Wells. / **The 2nd World Conference on Soft Computing, December 3-5, 2012 Baku, Azerbaijan, pp. 431-433.**

30. Telman Aliev, Ali Abbasov, Gambar Guluyev, Fahrhad Pashayev, Adalat Pashayev, Elkhan Sabziyev, Ulkar Sattarov. Technology for Determining Time of Origin and Coordinates of Anomalous Seismic Processes. / **IV International Conference “Problems of Cybernetics and Informatics” Volume II, September 12-14, 2012, Baku, Azerbaijan, pp. 36-51.**

31. Telman Aliev, Gambar Guluyev, Asif Rzayev, Rauf Gadimov, Fahrhad Pashayev, Iltizam Yusifov, Ismat Sattarov. Noise Technology and System for Determining of Flow Rate of Oil Wells / **IV International Conference “Problems of Cybernetics and Informatics” 2012, Vol I, pp 151-153.**

32. Paşayev F. H. Seysmoakustik siqnalların küy xarakteristikalarının Dobeşi-4 veyvleti ilə hamarlanması alqoritmi. / **Bakı Dövlət Universitetinin Hesablama Riyaziyyatı Kafedrasının 50 illik yubileyinə həsr olunmuş elmi konfransın materialları. Bakı 15-16 noyabr 2012-ci il s. 31-37.**

33. Paşayev F.H. Seysmoakustik siqnalların küy xarakteristikalarının Dobeşi-4 veyvleti ilə hamarlanması alqoritmi. // **AMEA Xəbərləri, Fiz.-Texn. və Riyaz. elmləri ser. Cild XXXII, 2012, № 6, s. 20-27.**

34. Пашаев Ф.Г. «Алгоритмы сглаживания характеристик

сейсмоакустических сигналов» // **Азербайджанское нефтяное хозяйство, 2013, №6 с.42-48.**

35. Пашаев Ф.Г. «Распределенная система обработки сейсмоакустической информации» // **Известия НАНА, сер. Физ.-мат. и техн. наук, т. XXXIII, № 3, 2013, с.125-132.**

36. Пашаев Ф.Г. «Современное состояние систем раннего предупреждения землетрясений (обзорная)» // **Известия НАНА, сер. Физ.-мат. и техн. наук, 2013, т. XXXIII, № 6, s. 238-248.**

37. Aliev T.A., Guluyev G.A., Pashayev F.H., Abbasov A.M., Sattarova U.E. Noise Technologies for Minimization of Damage from Destructive Earthquakes. / **SE-50EEE Intern. Conf. on Earthquake Engineering, 29-31 May 2013, Scopje.**

38. Aliev T., Guluyev G., Babayev T., Pashayev F. System for combined noise monitoring of anomalous seismic processes and seismic stability of construction objects. / **Science, Technology and Innovative Technologies in the prosperous epoch of the powerful state. Abstracts of papers of the Intern. Conf., Ashgabad, June 12-14, 2013, P 54-56.**

39. Fahrads Pashayev, Majid Pakdel, Narmin Rzaeva A Wavelet Based Denoising of Seismic Acoustic Signals. / **IV ALL-Ukrainian Scientific-Practical conf. "Informatics and Systems sciences", Poltava, 2013, p. 310-313.**

40. Алиев Тельман Аббас оглы; Аббасов Али Мамед оглы; Гулиев Гамбар Агаверди оглы; Пашаев Фахрад Гейдар оглы; Рзаев Асиф Гаджи оглы (AZ) «Способ мониторинга технического состояния компрессорного агрегата» **Евразийский патент № 018522, август 2013.**

41. Aliev T.A., Abbasov A.M., Mamedova G.G., Guluyev G.A., Pashayev F.G. Technologies for Noise Monitoring of Abnormal Seismic Processes. // **Seismic Instruments, 2013, Vol. 49, No. 1, pp. 64-80.**

42. Aliev T.A., Abbasov A.M., Guluyev G.A., Pashayev F.H., Sattarova U.E. System of robust noise monitoring of anomalous seismic processes // **Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 53 (2013) 11-26.**

43. Агаев Б.С., Пашаев Ф.Г. «Метод оценки качества речи в корпоративных VoIP-сетях» // **Информационные технологии. № 8, 2013, с. 34-39.**

44. Алиев Т.А., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г., Саттарова У.Э. Ахмедов И.А. «Результаты экспериментов на скважинах малой глубины

сети RNM ASP станций» / **Seysmologiya, Mühəndis Seysmologiyası və ANTELOPE İstifadəçiləri qrupunun VI Beynəlxalq Konfransı. Bakı, 2014 g.**

45. Алиев Т.А., Нусратов О.К., Гулуев Г.А., Рзаев Ас.Г., Пашаев Ф.Г. «Робастное управление повышением рентабельности механизированного способа добычи нефти» // **V ALL-Ukrainian Scientific-Practical conf. "Informatics and Systems sciences", Poltava, 2014, p. 31-34.**

46. Пашаев Ф.Г. «Сеть RNM ASP станций как распределенная система обработки сейсмоакустической информации» // **V ALL-Ukrainian Scientific-Practical conf. "Informatics and Systems sciences", Poltava, 2014, p. 239-241.**

47. Пашаев Ф.Г. «Обработка сейсмоакустических noise характеристик в режиме Мультисервер» // **Известия НАНА, сер. Физ.-мат. и техн. наук, 2014, т. XXXIV, № 3, s. 89-93.**

48. Pashayev A.M., Alizada A.A., Aliev T.A., Abbasov A.M., Guluyev G.A., Pashayev F.H., Sattarova U.E. Intelligent seismic-acoustic system for identifying the location of the focus of an expected earthquake. // **Transactions of ANAS, ser. of phys.-techn. and math. Sciences, Vol. XXXIV, №3, p.3-24.**

Личный вклад соискателя в труды, опубликованные в соавторстве:

[4, 8, 40] - Участие в разработке формул изобретений, организация и проведение вычислительных экспериментов.

[2, 10, 14, 17-20, 2, 42] - Определение алгоритмических основ разработанных систем и комплексов, участие в постановке задач.

[5, 7, 1, 6, 9, 31] - Постановка задачи и определение алгоритмов применения RNM Technologies.

[9, 13, 7, 8, 30, 39] - Постановка задачи и определение алгоритмов применения.

[11, 15, 44, 45] – Участие в обсуждениях, руководство проведением лабораторных, полунатурных и натуральных экспериментов.

[6, 12, 16] - Участие в постановке вопросов об использовании коэффициента корреляции и взаимно корреляционной функции между полезным сигналом и шумом как индикатора перехода объектов в аварийное состояние.

[23, 4, 5, 37, 38] - Участие в постановке вопросов изменяемости сейсмостойкости, разработка алгоритмов применения RNM Technologies.

[1, 3, 41, 43, 48] - Участие в обсуждениях и постановка вопросов, проведение экспериментальных работ.

32

PAŞAYEV FƏHRAD HEYDƏR OĞLU

**ROBUST NOISE TEXNOLOGİYALAR ƏSASINDA SEYSMİK
PROSESLƏRİN MONİTORİNQİ ÜÇÜN İNTELLEKTUAL
SEYSMOAKUSTİK STANSİYALAR ŞƏBƏKƏSİNİN TƏDQIQI VƏ
İŞLƏNMƏSİ
XÜLASƏ**

Dissertasiya işində Robust Noise texnologiyalarının tətbiqi ilə seysmik prosesinin monitorinqi üçün intellektual seysmoakustik stansiyalar şəbəkəsinin yaradılması məsələlərinin həllinə baxılmışdır. Qarşıya qoyulmuş məqsədlərə çatmaq üçün dissertasiya işində:

Zəlzələlər haqqında erkən zəlzələ xəbərdarlığı sistemləri, qısamüddətli zəlzələ proqnozlaşdırılması məsələsinin müasir vəziyyəti analiz edilmişdir. Mövcud metodların tətbiqi ilə qısamüddətli zəlzələ proqnozlaşdırılması məsələsinin çətinlikləri təyin edilmişdir. SP monitorinqi üçün intellektual RNM SP stansiyalar şəbəkəsinin yaradılmasının zəruriliyi əsaslandırılmışdır.

RNM SP stansiyalarının strukturu, SP monitorinqi mərkəzinin strukturu işlənmiş, intellektual RNM SP stansiyalar şəbəkəsinin elementləri arasında rabitə vasitələrinin proqram – texniki kompleksi yaradılmışdır.

SP monitorinqi məsələsinin həlli üçün RN texnologiyalarının tətbiqini zəruri edən tələblər müəyyən edilmişdir.

SP başlanmasının informativ əlamətləri – indikatorlarının təyin edilməsi texnologiyaları işlənilib hazırlanmışdır. Zəlzələ ocaqlarının aid olduqları zonalar müəyyən edilmiş və SP zonalarının təyin edilməsi üçün intellektual texnologiya yaradılmışdır.

Gözlənilən zəlzələlərin maqnitudasının təxmini qiymətini neyron şəbəkə əsasında təyin etməyin mümkün olması göstərilmişdir.

RNM SP stansiyalar şəbəkəsinin vasitəsi ilə SP monitorinqini təmin etməyə imkan verən hibrid alqoritmlər və proqram təminatı kompleksi işlənmişdir.

İşdə müxtəlif tipli RNM SP stansiyalarının xüsusiyyətləri analiz edilmişdir və akyiv seysmik zonalar üzrə stansiyaların kombinasiyaları müəyyən edilmişdir.

Seysmoakustik monitorinq nəticələrinin qəbulu və indikasiyası üçün proqram modulları yaradılmış, seysmoakustik xarakteristikalar bazası işlənmişdir.

33

FAHRAD HAYDAR PASHAYEV

**INVESTIGATION AND DEVELOPMENT OF A NETWORK OF
INTELLIGENT SEISMIC-ACOUSTIC STATIONS FOR
MONITORING OF SEISMIC PROCESSES BASED ON ROBUST
NOISE TECHNOLOGIES
RESUME**

The present thesis considers the problem of building of the network of intelligent RNM SP stations for monitoring of seismic processes with the use of Robust Noise technologies. The following has been carried out to achieve the set objective.

Earthquake early warning systems, state-of-the-art of short-term earthquake forecasting have been analyzed; the difficulties of short-term forecasting by existing methods have been determined. The relevance of the network of RNM SP stations for SP monitoring has been substantiated.

The architecture of RNM SP stations, Center of Monitoring of SP, hardware and software complex of communication between all elements of the network of RNM SP stations have been developed.

The prerequisites of application of RN technologies for SP monitoring have been determined. The technologies for determining the informative attributes indicating the beginning of SP have been developed. Earthquake focus zones have been determined and the intelligent technology for determining SP zones has been developed. It is indicated to be possible to determine approximate value of magnitude of expected earthquakes on the basis of neuron network. Hybrid algorithms and software package enabling SP monitoring via RNM SP stations network have been developed.

The characteristic peculiarities of different types of stations within the network have been determined, as well as the grouping of stations based on the active seismicity zones.

Software modules for receiving the results of seismic monitoring and indication have been developed. The base of seismic-acoustic characteristics has been created.

34

Заказ . Тираж 100. Участок подготовки информационных материалов Института Систем Управления НАН Азербайджана.
Баку, ул. Б.Вахабзаде, 9.

35