

Национальная академия наук Украины
Институт геофизики им. С.И.Субботина

На правах рукописи

МОСТОВОЙ Василий Сергеевич

МОДЕЛИ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ
СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Специальность 01.04.12 "Геофизика"

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Киев - 1996

550.3
Диссертация является рукописью.

АВ 35.530

Работа выполнена в Институте геофизики
имени С.И.Субботина НАН Украины.

Научный руководитель: доктор физико-математических
наук, профессор, академик НАНУ
СТАРОСТЕНКО В.И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
ВОЛОШИН А.Ф.

доктор физико-математических наук
ТЯПКИН Ю.К.

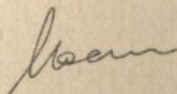
Ведущая организация: Отделение гидроакустики Морского
гидрофизического Института НАН
Украины

Защита состоится "2" октября 1996г.
в "10" часов на заседании специализированного ученого
совета Д 01.95.01 при Институте геофизики имени С.И.
Субботина НАН Украины по адресу:
252680, г. Киев-142, проспект Палладина, 32.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "2" сентября 1996г.

Ученый секретарь
специализированного ученого совета
доктор физико-математических наук

 Гейко В.С.

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00759912 (X)

Общая характеристика работы.

Актуальность проблемы. Сложившаяся ситуация при обработке и анализе геофизической информации требует создания интерактивных систем мониторинга, опирающихся на новые модели процессов формирования наблюдаемых данных, моделей оценки состояния разладки исследуемых полей, моделей идентификации сигналов и оценки их параметров. Поскольку системы мониторинга должны работать в реальном времени или с небольшими задержками во времени, то модели должны быть сравнительно простыми и обеспечивающими быстрые алгоритмы анализа. Данная работа посвящена созданию таких моделей, созданию интерактивной системы мониторинга, опирающейся на разработанные автором модели. Реализованная система использовалась для мониторинга "Саркофага" Чернобыльской АЭС, мониторинга донных сейсмических наблюдений, анализа регистрируемого на суше микросейсмического фона. Все перечисленные задачи являются актуальными. В работе предложен новый физический и программный интерфейс системы мониторинга сейсмических сигналов. Предложенная система может быть использована для мониторинга экологически опасных объектов и зон Земного шара. Примеры такого использования системы даны в работе. Актуальной является и задача создания концепции мониторинга таких объектов, как приведенные в работе.

Цель и задачи исследований. Цель диссертационной работы состоит: в разработке моделей обнаружения и идентификации сигналов, которые реализуются в системах, работающих в реальном времени.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

создании систем мониторинга, реализующих эти модели и разработанную концепцию математической модели мониторинга природно-технических систем,

Конкретные задачи выполненной работы предусматривали:

- разработать фрагменты концепции моделей сейсмического прогноза и мониторинга геофизических полей, на основе представлений о стохастическом характере их природы;

- разработать математические модели обнаружения и идентификации сигналов геофизических полей для работы в реальном времени,

- создать системы мониторинга, включая алгоритмические, программные и физические средства, базирующиеся на выбранном подходе,

- провести модельные испытания системы мониторинга при анализе донных сейсмических наблюдений, микросейсмического фона, состояния конструкций экологически опасного объекта "Укрытие", анализа данных получаемых на сейсмической станции "Киев" в режиме модемной связи.

Научная новизна. Предлагаются комплексная концепция мониторинга, основанная на ряде нетрадиционных методов, обеспечивающих возможность обработки и предварительного анализа данных в реальном масштабе времени таких как анализ разладки случайного процесса, преобразование стационарного случайного процесса в точечный поток событий. На основе концепции созданы оригинальные математические модели и алгоритмы, воплощенные в системе мониторинга.

Практическая ценность и реализация работы. Разработанная концепция, математические модели и алгоритмы были заложены в основу построения уникальной системы контроля состояния строительных

конструкций объекта "Укрытие" Чернобыльской АЭС, интерактивная система мониторинга используется в Институте геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины для анализа данных, получаемых донными сейсмическими станциями на акватории шельфа Чёрного моря, для анализа данных получаемых на сейсмической станции "Киев" в режиме модемной связи.

Степень личного участия автора в выполненных работах. Автор непосредственно участвовал в построении концепции сейсмоакустического мониторинга (совместно с Мостовым С.В и Осадчуком А.Е.), разработке математических моделей и (совместно с Мостовым С.В и Осадчуком А.Е.), алгоритмического и программного обеспечения интерактивной системы мониторинга (совместно с Осадчуком А.Е.), разработке технического задания на физический и программный интерфейс системы мониторинга. Автором проведен анализ модельных и натуральных данных, полученных в Институте геофизики в результате мониторинга.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на III семинаре "Нетрадиционные методы изучения неоднородностей Земной коры" (г. Москва, 1993г.), на IV семинаре "Нетрадиционные методы изучения неоднородностей Земной коры" (г. Москва, 1994г.), на рабочих совещаниях по проблемам безопасности объекта "Укрытие" (г. Чернобыль, 1993г., 1994г.), 19 General Assembly of ECS, (Grenoble 25-29 April. 1994), 2nd Workshop on "Application of artificial intelligence techniques in seismology and engineering seismology" (Walferdange, Luxembourg, 4 - 6 October 1995), на международной научной конференции "Чернобыль - 96", (п. Зелёный Мыс 1996г.), "80th GLJ meeting -

(Walfordange, 11-13 March 1996)", International Conference of Information Theories and Applications, (Trojan and Sofia 1996).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 работ.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав и заключения, общим объемом 116 страниц, в том числе 30 рисунков, 16 страниц списка литературы, включающего 155 наименований.

Работа выполнена в отделе моделирования геофизических полей Института геофизики им. С.И.Субботина НАН Украины под руководством доктора физико-математических наук, профессора, академика НАН Украины В.И.Старостенко.

Автор глубоко благодарен за постоянное участие в подготовке и обсуждении работы А.Е.Гай, А.И.Венгеру, С.В.Мостовому, С.П.Несину, А.Е.Осадчуку, А.В.Соломину, А.В.Торянику, В.Н.Шуману.

Содержание работы.

Введение.

Анализ современного состояния геофизической науки позволяет сделать вывод о изменении тенденций в её развитии. Наряду с традиционно глубоким анализом геофизических полей и связанных с этими полями процессов, с совершенствованием математических моделей этих процессов, совершенствованием измерительной аппаратуры и, может быть самое важное, наблюдательной сети и возможностей вычислительных средств осуществлять достаточно сложную обработку огромных массивов данных наблюдательной сети в реальном или близком к реальному времени, появилась возможность мониторинга геофизических полей и связанная с этим возможность изучения динамики коротко живущих и слабо выраженных

процессов. Под геофизическим мониторингом будем понимать режимные наблюдения за геофизическими полями и их анализ для изучения динамики Земли и её фрагментов и прогноза их развития. Нужно отметить, что режимные наблюдения для геофизики не новость, а суть её существования, но мониторингом такие наблюдения становятся лишь при возможности анализа данных в реальном или близком к нему времени. Огромные массивы обрабатываемой информации требуют автоматизированного её анализа и оценок интерпретируемых параметров вплоть до конструирования выводов и принятия решения. Последнее должно осуществляться в интерактивном режиме, т.е. в диалоговом режиме исследователя и автоматизированной системы обработки. Перечисленные обстоятельства требуют создания математических моделей процессов формирования полей для работы в системах мониторинга, т.е. оперирующих небольшим числом параметров для возможности быстрой их оценки и экспресс анализа в автоматизированной системе. Сложность модели, или количество описывающих её параметров, определяется возможностями системы обработки и целями экспресс анализа в автоматизированном режиме.

Глава 1. Поточные модели сейсмических полей

В этой главе даны формальные представления автора о структуре сейсмического поля, об оценке линейных и нелинейных параметров модели. Предложена концептуальная модель прогноза. Дано решение задачи компенсации нестационарной помехи.

1. Поточковые модели.

В этом параграфе собран компилятивный материал по вопросам связанным с теорией случайных потоков. Приведены определения и необходимые формулы.

2. Модель сейсмического поля. Статистические характеристики функции помех сейсмического поля.

В различных задачах оценки параметров сейсмических волн по заданному значению волнового поля в некоторой точке возникает необходимость оценивать параметры волн одного класса на фоне некоторой аддитивной помехи $n(t)$ и суперпозиции потоков волн других классов, которые в этом случае не оцениваются и не идентифицируются и могут рассматриваться как помеха. Тогда случайной функцией помехи будет суперпозиция потоков неидентифицируемых волн и случайной функции. Предполагается возможным принять следующую модель процесса формирования волнового поля $y(t, \zeta)$ в точке регистрации ζ :

$$y(t, \zeta) = \sum_{k=0}^N \sum_{i=1}^{q_k} \theta_{ki}(\zeta) U_k(t, \tau_{ki}(\zeta)) + n(t, \zeta) \quad (1)$$

Здесь $U_k(t, \tau_{ki}(\zeta))$ - одиночная волна k -го потока, причем физически осуществимая нормированная функция, т. е.

$$U_k(t, \tau_{ki}(\zeta)) = \begin{cases} U_k(t, \tau_{ki}(\zeta)), & t \geq \tau_{ki}(\zeta) \\ 0, & t < \tau_{ki}(\zeta) \end{cases} \quad (2)$$

$$\int_{\tau_{ki}}^{\infty} U_k^2(t, \tau_{ki}(\zeta)) dt = 1.$$

В дальнейшем рассмотрим регистрацию поля в фиксированной точке и координату сенсора ζ опускаем.

Под потоком волн одного класса понимается совокупность волн, вступающих в случайные моменты τ_k и не различающиеся по форме, как видно из (2), форма волны в общем случае предполагается зависящей от момента вступления. Предполагается, что волны флуктуируют по амплитуде так, что коэффициенты θ_k случайные независимые величины с функцией распределения $H_k(x)$ и плотностью $h_k(x)$ и соответствующей характеристической функцией $\psi_k(\omega)$. N - число потоков, формирующих (1).

При оценке параметров или идентификации волн одного потока, например нулевого, случайным шумом в модели (1) будет функция :

$$W(t) = \sum_{k=1}^N W_k(t) = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{q_k} \theta_{ki} U_k(t, \tau_{ki}) + n(t) \quad (3)$$

Для модели (3) в предположении пуассоновского потока моментов вступления τ_k и потока Бернулли получены формулы первого и второго моментов случайного процесса $W(t)$. Показано, что для физически осуществимых сигналов процесс нестационарен.

$$\mu_1(t) = \frac{\partial \gamma(\omega, t)}{\partial \omega} (-1) \Big|_{\omega=0} = \mu_1[n(t)] + \sum_k \lambda_k \mu_1(\theta_k) \int_0^t U_k(t, \tau) d\tau. \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \mu_2(t) = & -\frac{\partial^2 \gamma(\omega, t)}{\partial \omega^2} \Big|_{\omega=0} = 2\mu_1[n(t)] \sum_k \lambda_k \mu_1(\theta_k) \int_0^t U_k(t, \tau) d\tau + \\ & + \sum_k \sum_s \lambda_k \lambda_s \mu_1(\theta_k) \mu_1(\theta_s) \int_0^t U_k(t, \tau) d\tau \int_0^t U_s(t, \tau) d\tau + \\ & + \mu_2[n(t)] + \sum_k \lambda_k \mu_2(\theta_k) \int_0^t U_k^2(t, \tau) d\tau. \end{aligned} \quad (5)$$

$$\mu_1(W(t)) = \mu_1[n(t)] + \sum_{k=1}^N K_k! \cdot P_k \mu_1(\theta) \sum_{s=1}^{K_k} \frac{\bar{u}_{ks}(t)}{P_{ks}} \quad (6)$$

Здесь (4) и (5) два первых момента пуассоновского потока сигналов, а (6) для потока Бернулли. В (6) p_k - вероятность появления всех сигналов k -ого потока, p_{ks} - вероятность появления s -го сигнала в k -ом потоке, $\bar{P}_{ks}(t)$ - усреднённый по моментам вступления s -ый сигнал k -го потока, K_k - количество сигналов в k -ом потоке.

Предположение о стационарности в широком смысле может быть оправдано лишь для коротких сигналов, время существования которых много меньше интервала наблюдения.

Примером такого поведения процесса может служить сейсмоакустический фон Саркофага Чернобыльской АЭС, поскольку он зависит от человеческой деятельности. Так интенсивность потока отдельных сигналов зависит от времени суток, времени года. Нестационарность процесса отчётливо проявляется в нестационарности энергии процесса в скользящем окне фиксированной длины. В автоматизированной системе неидентифицированного обнаружения сигналов это обстоятельство следует учитывать и строить алгоритмы обнаружения с учётом априорных знаний о математическом ожидании значения энергии процесса как функции времени.

3. Оценка параметров модели.

При оценке параметров модели в геофизических исследованиях, в общем случае, мы сталкиваемся с таким представлением модели наблюдаемых геофизических полей $y(t, x)$, когда наблюдения осложнены аддитивной помехой $n(t, x)$ (t - временная, а x - пространственная координаты, последняя в зависимости от организации системы наблюдений может быть одномерной (профильные наблюдения), двумерной и

трехмерной, либо принимать одно единственное значение). Собственно модель процесса формирования поля $M(\vec{h}, \vec{a}, t, x)$ определяется двумя векторами свободных параметров модели \vec{h} и \vec{a} , причём \vec{h} входит в модель линейно, а \vec{a} - нелинейно:

$$y(t, x) = M(\vec{h}, \vec{a}, t, x) + n(t, x)$$

Для линейно входящих в модель параметров получены системы линейных уравнений.

$$\sum_{k=1}^n h_k (M_k(\vec{a}, t, x), M_s(\vec{a}, t, x)) = (y(t, x), M_s(\vec{a}, t, x)), s = 1, n$$

где скобками обозначена операция скалярного произведения.

4. Математическая модель прогноза сейсмического события.

Ретроспективный анализ прошедших землетрясений и сопутствовавших им предвестников позволяет сделать вывод о том, что в каждом конкретном случае выделить один достаточно информативный фактор в качестве предвестника не удается. Это обстоятельство связано, прежде всего, с наличием достаточно мощных нестационарных помех и, возможно, с тем обстоятельством, что по изменению во времени одного параметра нельзя построить процедуру принятия решения о времени и интенсивности будущего землетрясения, которая бы позволяла строить прогноз с большой вероятностью.

По-видимому, только совместный анализ совокупности достаточно большого числа мало информативных геофизических параметров с учетом статистических свойств стационарных и нестационарных помех может оказаться перспективным для построения процедур формального принятия решения о прогнозе.

Такой подход приводит, во-первых, к необходимости исследования несвязанных с предвестниками нестационарных и стационарных помех, сопутствующих измерению каждого из прогностических параметров, и, в реальном масштабе времени, оптимально осуществлять процедуру фильтрации всех прогностических параметров с учетом статистических свойств помех. Для этого на этапе обучения модели фильтрации нестационарных помех необходима параллельная их регистрация и построение оптимальных оценок параметров модели связи помехи и прогностического параметра, чтобы построить оптимальные оценки параметров фильтра. Например, естественно предположить, что уровень воды в скважинах, который используется как один из прогностических параметров, связан с атмосферным давлением и количеством выпадающих осадков. Причем характер этой связи априори неизвестен, но в качестве первого приближения может приниматься линейным с чисто транспортной задержкой.

Во-вторых, на этапе обучения для совокупности прогностических параметров, отфильтрованных от нестационарных помех, например по критерию минимума дисперсий на выходе фильтра, необходимо исследовать форму и интенсивность потока сигналов в связи с происходящими событиями.

Множество параметров таких, как поток микросейсмических событий, поведение уровня воды в скважине, изменение интенсивности эманаций радона, электропроводности горных пород и т. д., как функции времени, можно рассматривать в виде векторного случайного процесса, на фоне которого необходимо выделить некоторый векторный сигнал-предвестник, параметры которого априори неизвестны, а статистические характеристики

определяются на этапе обучения. Для этого необходимо отобразить пространство случайных функций-предвестников на случайное векторное пространство, что существенно облегчит набор статистик и последующий анализ прогностических параметров.

В-третьих, необходимо построить в реальном масштабе времени процедуры формального принятия решения о прогнозе, основанные на предыстории зарегистрированного векторного случайного процесса и результатах, полученных на этапе обучения, когда устанавливается статистическая связь между параметрами сигнала-предвестника и параметрами сейсмического события. Процедуры принятия решения должны включать эвристики исследователя в виде степени доверия значениям компонент случайного процесса и стратегий возможных линий поведения в зависимости от принятого решения.

В-четвёртых, такая процедура может включать в себя оптимальную по выработанному критерию оценку вектора параметров сигнала-предвестника с введенными в качестве эвристик исследователя априорными распределениями оцениваемых параметров и по результатам измерений принятия решения о прогнозе с учетом формально введенной функции стоимости потерь от неверно принятого решения, а именно пропуска цели и ложной тревоги.

Пятым важным моментом является то обстоятельство, что нужно анализировать огромные объемы самой разной информации в реальном масштабе времени. Это порождает две проблемы. Первая - выделение фрагментов непрерывно поступающей информации, которые в дальнейшем рассматриваются как сигнал (задача неидентифицированного обнаружения). Вторая - измерение параметров сигнала, его идентификация как связанного с

событием и накопление таких сигналов в базе данных (задачи оптимальной оценки параметров потока сигналов и идентификации).

Шестым, и последним пунктом, нужно отметить собственно построение оператора прогноза, отображающего предысторию потока сигналов в вектор параметров будущего сейсмического события. Поскольку представляющие интерес для прогноза землетрясения события редкие, то естественно пойти по пути анализа предвестников и синтеза оператора прогноза на слабых сейсмических событиях с последующей экстраполяцией в область сильных землетрясений (задачи регрессии, статистической экстраполяции).

Перечисленные шесть пунктов объединенных в единую систему, будем называть математической моделью прогноза сейсмического события.

Глава 2. Компенсация нестационарной помехи.

Глава содержит результат по первому пункту сформулированной математической модели прогноза. Это задача компенсации нестационарной помехи. На наш взгляд, игнорирование этой процедуры даже при слабой помехе обрекает исследователя на неверные выводы. Результаты, изложенные ниже, включены в автоматизированную систему мониторинга.

Первый этап исследования - построение оптимальных оценок линейного оператора связи нестационарной помехи и случайного процессаносителя предвестника и построение процедуры подавления нестационарной помехи. Строится гипотеза о том, что прогностический признак, регистрируемый в точке наблюдения x , как функция времени $y(t)$ и

регистрируемая в точке x_2 нестационарная помеха $z(t)$ обладают линейной связью вида :

$$y(t - \theta) = \int_{t-T}^t z(\tau) h(t - \tau) d\tau + n(t)$$

Здесь оператор $h(t)$ - стационарный линейный оператор связи помехи и носителя предвестника $y(t)$. Он является физически осуществимой функцией, отличной от нуля лишь на интервале длиной T . Предполагается зависимость оператора $h(t)$, длины T , задержки θ от координат, в которых регистрируются функции $y(t)$ и $z(t)$. Аддитивная помеха $n(t)$ в общем случае также зависит от точки, в которой регистрируется прогностический параметр $y(t)$.

Задача заключается в определении оптимальной оценки оператора $\hat{h}(t)$, длины интервала носителя этой функции \hat{T} и задержки $\hat{\theta}$ по предыстории процессов $y(t)$ и $z(t)$ при заданных статистических свойствах нормальной помехи $n(t)$. Для вектора параметров, описывающих $\hat{h}(t)$ получена система уравнений

$$\psi(T)\hat{h} = \bar{I}(T, \theta).$$

где элементы матрицы $\psi(T)$ определяются через функционалы от $z(t)$, а элементы вектора правой части $\bar{I}(T, \theta)$, через функционалы от $y(t)$ и $z(t)$.

Для многомерной функции - носителя-предвестника землетрясения.

$$y_k(t) = \sum_{m=1}^n \int_{t-T}^t z_m(\tau - \theta) h_{km}(t - \tau) d\tau + n_k(t); \quad k = 1, \bar{m}$$

Показано, что решение задачи сводится к системе уравнений подобной выше приведенной.

Глава 3. Системы сейсмического мониторинга.

Глава посвящена физическому и программному интерфейсу автоматизированной системы сбора и предварительной обработки сигналов в сейсмическом диапазоне. Автором совместно с А.Е. Осадчуком разработан программный интерфейс системы и совместно с С.В.Мостовым техническое задание на создание физической реализации, которая была выполнена сотрудниками Киевского политехнического института. Разработанный интерфейс реализован в системе сейсмоакустического мониторинга "Саркофага" Чернобыльской АЭС и в системе сбора и обработки сейсмической информации донными сеймостанциями, в системе модемной связи с сейсмической станцией Киев в 1995 году.

В этой главе подробно рассмотрены аспекты донной сейсмики. Аппаратура и особенности регистрации. Применение автоматизированной системы мониторинга в автоматическом и интерактивном режимах.

Работа системы в автоматическом режиме.

В автоматическом режиме система осуществляет обнаружение и детектирование сигналов. Задача обнаружения решается для априори неизвестных сигналов, т. е. как задача неидентифицированного обнаружения. На основании изученной предыстории фона, на котором выделяется сигнал, по его разладке делается заключение о наличии сигнала. Последнее означает, что в результате обучения строятся статистические характеристики фоновой составляющей, которые в алгоритме обнаружения используются как уставки, т.е. опорные значения используемые для сравнения с результатами измерения, выход за которые в режиме обнаружения принимается как признак появления сигнала. Сигналом считается фрагмент случайного

процесса с аномальными значениями статистических характеристик этого процесса. В дальнейшем такой сигнал подлежит идентификации, параметризации и оценке его параметров. В этом параграфе обсуждается только вопрос неидентифицированного обнаружения. Из сказанного ясно, что в основе алгоритма обнаружения лежат полученные на этапе обучения значения уставок. Рассмотрим ряд случаев с различными статистическими характеристиками случайного процесса выбираемыми в качестве уставок.

1. В предположении стационарности в широком смысле фона $n(t)$ в качестве уставки выберем оценку дисперсии σ процесса, вычисленную на предыстории длиной T .

$$\sigma = \frac{1}{T} \sqrt{\int_0^T n^2(t) \cdot dt}$$

Доверительные границы для уставки будут $(\sigma - \varepsilon, \sigma + \varepsilon)$, где значение ε выбирается исследователем в зависимости от его отношения к ошибкам пропуска цели и ложной тревоги. Алгоритм обнаружения за рамками предыстории T работает следующим образом. В скользящем окне длиной T вычисляется оценка $\hat{\sigma}$

$$\hat{\sigma}_a = \frac{1}{T} \cdot \sqrt{\int_{t-T}^t n^2(t) \cdot dt}$$

Если $\hat{\sigma} \in (\sigma - \varepsilon, \sigma + \varepsilon)$, то фрагмент воспринимается как сигнал, в противном случае сигнала нет. Ясно, что фрагмент может быть сколь угодно длинным. Здесь встаёт вопрос о выборе длины окна. Интуитивно ясно, что длина окна должна быть равна длине ожидаемого сигнала. Формально мы это покажем

для другого алгоритма обнаружения. Здесь уместно отметить, что в качестве метрики может быть выбрана не только $L_2(T)$, но и $L_p(T)$.

2. Для ожидаемых сигналов с *большим* значением нормы в метрике C в автоматическом режиме может использоваться алгоритм обнаружения, который в аналоговых вычислительных устройствах носил название пиковый детектор. Это сигналы большой амплитуды, но с малым носителем, типа δ функции. В этом случае уставка задаётся как уровень H , с которым сравнивается оценка \hat{c} , вычисляемая по формуле:

$$\hat{c}_t = \max_{x \in (t, t+T)} |h(x)|$$

Если $\hat{c}_t \geq H$, то принимается решение - фрагмент $(t, t+T)$ содержит сигнал. В противном случае сигнала нет.

3. В этом параграфе рассмотрим алгоритм обнаружения основанный на теореме для стационарных в широком смысле процессов. Если стационарный в широком смысле процесс $n(t)$ обладает абсолютно непрерывным спектром и спектральная плотность процесса $f(\omega)$ допускает представление

$$f(\omega) = |h(i\omega)|^2$$

где

$$h(i\omega) = \int_0^{\infty} b(\tau) \cdot \exp(-i \cdot \omega \cdot \tau) d\tau, \quad \int_0^{\infty} |b(\tau)|^2 \cdot d\tau < \infty.$$

тогда процесс является реакцией физически осуществимого фильтра $a(t)$ и

$$h(i\omega) = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi}} \cdot \int_0^{\infty} a(\tau) \cdot \exp(i \cdot \omega \cdot \tau) \cdot d\tau$$

Отсюда следует алгоритм обнаружения. На предыстории T в предположении стационарности в широком смысле случайного процесса $n(t)$ оцениваем его спектральную плотность $h(\omega)$, отображаем в вектор n -мерного пространства параметров \vec{h} , например вычислив энергию спектральной плотности в n поддиапазонах (ω_i, ω_{i+1}) $i = \overline{1, n}$ и далее оцениваем в евклидовой метрике уход вектора \vec{h}_t , вычисленного в скользящем окне $(t, t+T)$ от \vec{h} .

$$\|\vec{h}_t - \vec{h}\| \leq H$$

Если последнее справедливо то принимается решение об отсутствии сигнала. В противном случае фрагмент процесса $(t, t+T)$ считается сигналом. Уровень уставки H определяется исследователем по его отношению к вероятности ложной тревоги и пропуска цели.

4. Наиболее быстрым и легко реализуемым является алгоритм обнаружения сигналов по оценке интенсивности пуассоновского потока пересечений уровня и случайным процессом $y(t)$. Для анализа интенсивности потока пересечений высокого уровня фоном, поскольку поток пересечений высокого уровня фоном, асимптотически по величине уровня стремится к пуассоновскому это позволяет надеяться на хорошее согласие распределения количества пересечений высокого уровня за фиксированный отрезок времени с распределением Пуассона. Это приводит к простым выражениям для функции правдоподобия и простому алгоритму неидентифицированного обнаружения сигналов. Решающее правило заключается в определении оценки n -числа пересечений заданного уровня в скользящем окне.

5. Этот алгоритм обнаружения основан на быстром алгоритме оценки производных от функций, осложнённых помехой - использованием интегральных операторов свертки. В фазовом пространстве для случайного процесса в каждый момент времени t получаем точку, координаты которой - это значения производных процесса в этот момент времени. Траектория стационарного процесса в таком пространстве оказывается устойчивой и разладка процесса определяется как уход от устойчивой траектории. Уход измеряется в метрике L_2 .

Возможности системы в интерактивном режиме.

Для работы системы в интерактивном режиме представляется необходимым ввести преобразования исходного материала на основе эвристических представлений исследователя о характере помех и полезного сигнала, при этом необходимо оценить формально степень вмешательства человека в процесс обработки наблюдений. Нам представляется естественным такую оценку ввести по изменению нормы исследуемых процессов. Здесь нужно отметить, что для исследователя важна обратная связь по введенным преобразованиям. С очевидностью ясно, что при поставленных исследователем целях их следует добиваться минимальным преобразованием исходной информации. Рассмотрен ряд таких преобразований в спектральной области.

Глава 4. Система сейсмо акустического мониторинга Саркофага четвёртого блока Чернобыльской АЭС.

Данная глава посвящена проблеме использования полученных автором теоретических результатов для построения практических систем мониторинга. В качестве примера рассматривается автоматизированная система

мониторинга строительных конструкций Саркофага четвёртого блока Чернобыльской АЭС. Автор участвовал в разработке и модификации аппаратных средств, методов, алгоритмов и программного обеспечения системы с 1990 года. Дается описание аппаратных средств, используемых в системе, примеры реализации разработанных алгоритмов. Приведен подход к улучшению характеристик сейсмических датчиков, реализованный в системе мониторинга Саркофага четвёртого блока Чернобыльской АЭС.

1. Прибор + ЭВМ.

В введении было упомянуто, что одним из отличительных признаков нынешнего состояния геофизической науки является существенное улучшение качества измерительных приборов. Это связано прежде всего с использованием комплекса прибор и ЭВМ на этапе измерения. В выполненной нами системе мониторинга при измерении сейсмоакустических колебаний трехкомпонентным сейсмографом осуществляется коррекция передаточной функции системы прибор - канал связи-аналоговая аппаратура, что позволяет существенно расширить спектральный диапазон измеряемых сигналов, правда, за счет ухудшения соотношения сигнал-помеха в некоторых частях этого диапазона. В этой системе учтены индивидуальные особенности прибора, несовершенство его характеристик. Предложенный подход предполагает создание математической обработки сигналов, полученных в измерительных экспериментах, повышающей возможности прибора и это сформулировано как математическая задача т.е. дана математическая модель измерения.

2. Система мониторинга объекта "Укрытие".

Сеть наблюдений системы состоит из 5-ти 3-х компонентных блоков датчиков. Четыре блока (СК-1П) расположены на кровле объекта "Укрытие", пятый (составлен из 3-х датчиков СМ-3) расположен на смежном 3-м блоке ЧАЭС

Сигналы от датчиков по экранированным линиям связи поступают непосредственно в информационно диагностический комплекс. Далее сигналы поступают на 16-ти канальный блок усилителей постоянного тока и фильтров. Данный блок имеет программное управление при помощи подключаемой ПЭВМ и позволяет устанавливать усиление для каждого из каналов (100, 200, 400 и 800), включать фильтры высокой частоты (5Гц и 100Гц) и осуществляет режекцию частоты 50Гц. Возможность независимого установления коэффициентов усиления и фильтров позволяет максимально использовать динамический диапазон аналогово цифрового преобразователя (АЦП). Сигналы с блока усилителей поступают на модуль аналогово-цифрового преобразования (ADC12) состоящего из 16-ти канального мультиплексора, усилителя и собственно АЦП. Программно управляемый мультиплексор осуществляет последовательную коммутацию каждого из установленных входных каналов и единственного 12-ти разрядного АЦП. Цифровые данные с выхода АЦП поступают в ПЭВМ и используются обслуживающей программой.

Программная часть системы ориентирована на совместную работу с блоком усилителей и модулем АЦП (ADC12) на ПЭВМ РС АТ 486 под управлением MS DOS версии 3.0 и выше.

Функционально система может быть представлена в виде трех модулей:

- Сбор информации - основной режим работы системы, в котором производится выделение и регистрация событий.

- Анализ информации - предназначен для просмотра информации о последних зарегистрированных событиях.

- Настройка системы - предназначена для изменения параметров алгоритмов обнаружения, режимов аппаратных и программных средств.

Программно система была реализована на языке "Си" и состоит из функций различного уровня:

- функции низкого уровня;
- сервисные функции;
- математические функции обработки информации.

Мониторинг в режиме модемной связи с сейсмической станцией "Киев". Такой вид мониторинга позволяет использовать возможности системы как в автоматическом так и в интерактивном режимах. Сложность работы в реальном времени заключается в согласовании потока данных измерений, ограниченной пропускной способностью канала связи и скоростью выполнения процедур обработки.

Заключение.

Приведены основные результаты работы:

- разработаны фрагменты концепции моделей сейсмического прогноза и мониторинга геофизических полей, на основе представлений о стохастическом характере их природы;

- разработаны математические модели обнаружения и идентификации сигналов геофизических полей для работы в реальном времени,
- создана система мониторинга, включая алгоритмические, программные и физические средства, базирующуюся на выбранном подходе,
- проведены модельные испытания системы мониторинга при анализе донных сейсмических наблюдений, микросейсмического фона, состояния конструкций экологически опасного объекта "Укрытие", где система внедрена и анализа данных получаемых на сейсмической станции "Киев" в режиме модемной связи.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Мостовой С.В., Мостовой В.С., Осадчук А.Е.. Математическая модель прогноза сейсмического события. //Кибернетика и вычислительная техника, N96, "Наукова думка", 1992г.

2. Мостовой С.В., Мостовой В.С., Осадчук А.Е.. Интерактивная система мониторинга сооружений. //Кибернетика и вычислительная техника, N100, "Наукова думка", Киев, 1993г.

3. Мостовой С.В., Мостовой В.С., Осадчук А.Е.. Сейсмоакустический мониторинг Чернобыльской АЭС. // III семинар "Нетрадиционные методы изучения неоднородностей Земной коры", Москва, 1993г.

4. Мостовой С.В., Мостовой В.С., Осадчук А.Е.. Сейсмоакустический мониторинг и проблемы риска. //IV семинар "Нетрадиционные методы изучения неоднородностей Земной коры", Москва, 1994.

5. Мостовой С.В., Мостовой В.С., Осадчук А.Е.. Использование сейсмоакустического мониторинга с целью прогноза состояния объектов. // V Всероссийская школа-семинар "Физические основы прогнозирования разрушений горных пород", Борок, 1994г.

6. Мостовой С.В., Мостовой В.С., Осадчук А.Е.. Поточковые модели в интерактивной модели прогноза. //Кибернетика и вычислительна техника, N104, "Наукова думка", Киев, 1994г.

7. Мостовой С.В., Мостовой В.С., Осадчук А.Е. Мониторинг сейсмоопасных зон и экологически опасных объектов с целью прогноза риска. // Геофизический журнал, N2, 1995г.

8. Мостовой С.В., Мостовой В.С., Осадчук А.Е., Марвенков Н.Г., Немчинов Ю.И. Автоматизированная система мониторинга строительных конструкций объекта "УКРЫТИЕ" в сейсмоакустическом диапазоне . Чернобыль 96 "Итоги 10 лет работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС".Зеленый Мыс 1996.

9. Mostovoy S.V, Mostovoy V.S., Osadchuk A.E.. The mathematical model of forecasting seismic events. //19 General Assembly of EGS, Grenoble 25-29 April, 1994.

10. Mostovoy S.V., Mostovoy V.S., Osadchuk A.E.. The Monitoring System of Ecological Hazard Objects. //International Journal "Information theories & application" Sofia 1996 vol.4 N 3 p 34-40

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.12 "Геофізика". Інститут геофізики ім. С.І.Субботіна НАН України, Київ, 1996.

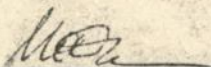
Захищається рукопис на базі 10 наукових праць, які включають результати побудови автором математичних моделей геофізичних полів та їх використання в системах моніторингу. Ця автоматизована система встановлена та використовується на Чорнобильській АЕС.

Mostovoi V.S. Signals detection and identification models at the geophysical fields monitoring systems.

Candidate of Phis. & Math. Sci. thesis, speciality 01.04.12 "Geophysics". Institute of geophysics, NAS of Ukraine, Kiev, 1996.

Defended is the manuscript based on 10 scientific papers containing the results of the developing mathematical models of the geophysical fields constructed by the author and its using at the monitoring systems. This particular automatical monitoring system is installed and implemented at Chernobyl nuclear power plant.

Ключові слова: моніторинг, сейсмічні методи, виявлення сигналів, потік



Підл. до друку 25.07.96.

Формат 80x84/16, Папір офс. Друк офс.

Ум.друк.арк. 0,8,Обл.-анк.арк. 1,0, Тираж 100 прим.

Зам. № 110

Поліграфічна дільниця Інституту економіки НАН України.

252011, Київ-11, вул.Панаса Мирного,28.

438662

1 AB 35.530
AB 35.530