

# **Системы геоэкологического мониторинга**

Т.А. Бибина  
Научный руководитель – А.А. Орехов  
*Муромский институт Владимирского государственного университета*  
602264 г. Муром, Владимирско обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: itpu@mivlgu.ru

## **Магнитотеллурическое зондирование в системах геодинамического контроля**

В настоящее время при создании геомониторинговых систем, предназначенных для решения проблем предупреждения и защиты технических объектов от действия катастроф природного характера, широко используются методы зондирования сред с использованием естественных источников магнитотеллурического поля. Наиболее эффективными при этом являются системы с применением методов магнитотеллурического зондирования, построенные на основе обработки и интерпретации зарегистрированных сигналов естественных электромагнитных полей на поверхности Земли в диапазоне короткопериодических колебаний ультранизкого частотного диапазона волн с верхней границей в несколько герц. Анализ параметров геомагнитных полей и условий проведения исследований позволяет сформулировать общие требования, предъявляемые к аппаратуре регистрации геомагнитных сигналов в рамках системы автоматизированных геомагнитных исследований в ультранизкочастотном диапазоне волн.

Магнитотеллурическое зондирование используется при исследовании геологического строения земной коры на глубинах до многих сотен километров в фундаментальной геофизике (фундаментальной и в прямом, и в переносном смысле), в электроразведке при исследованиях на глубинах от первых десятков метров до первых десятков километров (для поиска и разведки месторождений полезных ископаемых), для решения инженерно-геологических и гидрогеологических задач, для регионального изучения геологических структур.

Магнитотеллурическое зондирование представляет собой обработку и интерпретацию зарегистрированных сигналов естественных электромагнитных полей на поверхности Земли в диапазоне короткопериодических колебаний ультранизкого частотного диапазона, имеющего верхнюю границу около 3 Гц.

Основой для создания и использования методов МТ-зондирования послужили работы А.Н.Тихонова и Л. Каньяра. В работах была поставлена задача использования естественных электромагнитных полей для геолого-геофизической разведки и на примере математической обработки суточных вариаций была показана возможность интерпретировать электрические параметры геологического разреза. В качестве базовой модели была использована одномерная математическая модель МТ-зондирования, которая отличалась необыкновенной простотой. Вертикально падающая плоская однородная монохроматическая волна возбуждает плоскую слоистую Землю, электропроводность которой есть кусочно-непрерывная функция глубиной.

При использовании магнитотеллурических полей в системах геодинамического контроля необходимо учитывать ряд обстоятельств, осложняющих их применение при контроле напряженно-деформированного состояния горных пород, основные из которых следующие:

- временные вариации электромагнитных полей Земли обусловлены региональными, атмосферными и планетарными факторами и являются иррегулярными, что требует разработки отдельной системы селекции и контроля источников геомагнитных возмущений;
- интенсивность регистрируемых колебаний электромагнитного поля Земли (геомагнитных пульсаций) имеет ярко выраженную частотную зависимость, приводящую к необходимости проведения измерений в нескольких частотных диапазонах независимо друг от друга;
- регистрация и обработка сигналов напряженности геомагнитного поля при магнитотеллурических исследованиях является одной из наиболее сложных метрологических задач, что связано со спецификой частотного диапазона геомагнитных пульсаций от 0,002 до 5 Гц.

С.В. Ванягин  
Научный руководитель – доцент, канд. техн. наук Н.В. Дорофеев  
Муромский институт Владимирского государственного университета  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: itpu@mivlgu.ru

## Организация связи в системе геодинамического контроля приповерхностных неоднородностей

В настоящее время для мониторинга и прогнозирования развития приповерхностных неоднородностей на крупных промышленных объектах необходимы системы геодинамического контроля, построенные на базе электролокационной установки. Оперативность получения прогнозных оценок и выявление неблагоприятных факторов в таких системах напрямую зависит от скорости сбора информации с бесконтактных трансформаторных датчиков и её обработки центральным измерительным пунктом, а в частности от алгоритма обмена.

Бесконтактные трансформаторные датчики могут быть рассредоточены на большой территории, располагаются в геологической среде и зачастую вне прямой видимости друг от друга. Для повышения надежности системы, снижения экономических затрат и засорения существующих радиоканалов и получения возможности масштабирования подобные системы строятся на базе интерфейса RS-485.

Из-за аппаратных и функциональных особенностей системы геодинамического контроля использовать стандартизированные протоколы обмена, такие как ModBus, ProfiBus, ОВЕН и т.д., не целесообразно, поэтому для организации обмена данными и удаленного управления устройствами используется оригинальный алгоритм.

Особенностями алгоритма являются: побайтовая передача данных  $T_d$  и команд  $T_s$ ,  $T_r$ , причем в старшем полубайте хранится адрес назначения или отправителя, а в младшем размещаются сами данные или команды управления; случайное время оцифровки данных  $T_w$  и время, отведенное для передачи данных от датчика до центра сбора  $T_{per}$ . В связи с этим, на практике применение данного алгоритма вызывает некоторые недостатки, одним из которых является возникновение коллизий в моменты передачи данных от датчиков к центру сбора.

Коллизия, возникающая в канале связи, может образоваться, когда центр сбора после истечения времени  $T_{per}$ , отведенное для передачи данных от одного датчика, посылает в сеть пакет содержащую либо команду начала следующего цикла оцифровки, либо команду чтения данных с другого датчика, в то время как датчик отправляет пакеты данных  $T_d$ , которые он накопил за промежуток времени  $T_w$ , но не успел передать за время  $T_{per}$ .

Очевидно, что коллизии можно избежать в том случае соблюдения условия (1):

$$T_{per} > I \cdot \left( \frac{1}{S} + T_p \right), \quad (1)$$

где  $I$  – объем информации в байтах передаваемый от датчика к центру сбора и определяемый по формуле (2);  $S$  – скорость обмена, байт/сек;  $T_p$  – время необходимое датчику для подготовки данных к передаче, определяется выражением (3).

$$I = \left\lceil \frac{\Delta \cdot T_w \cdot n}{4} \right\rceil, \quad (2)$$

где  $\Delta$  - период дискретизации, сек;  $T_w$  – время оцифровки, сек;  $n$  – разрядность АЦП, бит.

$$T_p = tr + tpr, \quad (3)$$

где  $tr$  – время чтения 4х бит данных из оперативной памяти;  $tpr$  – время формирования кадра для передачи.

Согласно выражению этому полезная пропускная способность при использовании данного протокола обмена уменьшается в 2 раза за счет добавления в старший полубайт кадра служебной информации. Это приводит к увеличению времени обмена в 2 раза.

## Автоматическая регулировка усиления в измерительном тракте системы геоэлектрического контроля

Система геодинамического контроля на базе многополюсной электролокационной установки относится к классу низкочастотных многоканальных электроустановок, работающих по методу сопротивлений. Данная система построена на основе локации аномальных электрических сигналов от созданного электрического поля низкой частоты в контролируемой среде.

Особенностью данной системы является широкий динамический диапазон сигналов, принимаемых датчиком. Способом организации эффективной работы датчика, в таком случае, является построение измерительного тракта с цепью автоматической регулировки усиления. Таким образом, датчик становится многодиапазонным. Структурная схема блока датчика с цепью автоматической регулировки усиления приведена на рис. 1.

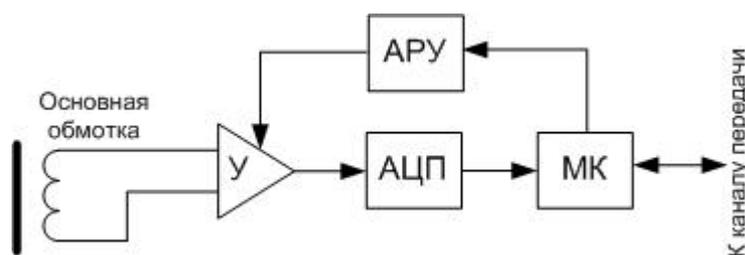


Рис. 1. Структурная схема блока датчика с цепью автоматической регулировки усиления

Как следует из схемы, блок датчика включает в себя первичный преобразователь, в качестве которого выступает основная обмотка бесконтактного трансформаторного датчика. Сигнал с обмотки поступает на инструментальный многодиапазонный усилитель  $U$ , коэффициент усиления которого изменяется в зависимости от сопротивления управляющего резистора. Далее сигнал поступает на аналогово-цифровой преобразователь АЦП для оцифровки и дальнейшей передачи на микроконтроллер МК. В микроконтроллере производится предварительная обработка сигнала с целью установления отношения сигнал-шум. Управляющая программа микроконтроллера принимает решение об изменении коэффициента усиления при помощи цепи обратной связи автоматической регулировки усиления АРУ. Так как АЦП имеет ограниченную разрядность, сигнал низкого уровня может просто не восприниматься. Если шум во много раз превосходит полезный сигнал – подаётся команда на увеличение коэффициента усиления. Если уровень сигнала превосходит границы входного диапазона АЦП – происходит обрезание, и, следовательно, подаётся команда на уменьшение коэффициента усиления. Цепь обратной связи автоматической регулировки усиления включает в себя цифровой потенциометр, изменяющий значение своего сопротивления в зависимости от подаваемого микроконтроллером цифрового значения.

С помощью системы АРУ можно решать и другие задачи: стабилизацию коэффициента усиления усилителя, измерение среднего уровня входных сигналов, подавление некоторых видов помех, деление амплитуд двух сигналов и другие функциональные преобразования.

Таким образом, применение цепи обратной связи автоматической регулировки усиления в блоке бесконтактного трансформаторного датчика позволяет существенно увеличить динамический диапазон входных сигналов и снизить влияние помех.

И.В. Игнатьева  
Научный руководитель – доцент, канд. техн. наук – Н.В. Дорофеев  
*Муромский институт Владимирского государственного университета*  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: itpu@mivlgu.ru

## **Компьютерные технологии в обработке геоэкологической информации**

В настоящее время существует большое количество программных пакетов для проведения технических вычислений: MatLab, MathCad, Mathematica и т.п. Однако, начинающий пользователь, которому требуется провести несложные вычисления и определить некоторые статистические характеристики оцифрованных сигналов или временных рядов, может столкнуться с рядом трудностей при работе с известными программными средствами для проведения вычислений: изучение пользовательского интерфейса, языка программирования, кроме того многие программные продукты имеют высокую стоимость и не каждый может себе их позволить.

Иногда возникает необходимость оперативного получения статистической информации о получаемых с АЦП данных, так, например, в автоматизированных геоэкологических комплексах работающих в полевых условиях зачастую требуется определить статистические характеристики получаемых временных рядов человеком, который не имеет больших навыков в работе с компьютерной техникой. В связи с этим возникает необходимость создания программного продукта для получения статистических характеристик временных рядов, который обладал бы наглядным и простым интерфейсом, включал в себя минимально необходимый набор функциональных возможностей, предназначенный для решения узкоспециализированных задач.

Разработанное программное обеспечение имеет удобный и интуитивно понятный пользователю графический интерфейс, занимает небольшой объем на жестком диске и является свободно распространяемым продуктом. Программный продукт имеет ряд функций связанных с математической статистикой, анализом и обработкой временных рядов, таких как:

- получения характеристик центра распределения случайной величины: математического ожидания, медианы и моды;
- получение характеристики рассеивания случайной величины около её математического ожидания: дисперсии, среднеквадратического отклонения, размаха варьирования, среднего линейного отклонения от математического ожидания, коэффициентов вариации и осцилляции;
- получение характеристики асимметрии распределения и его эксцесса: коэффициента асимметрии и его эксцесса;
- построения двумерных графиков функций.

Программный продукт разрабатывался с использованием высокоуровневого интерпретируемого языка программирования MatLab с использованием объектно-ориентированного программирования.

Входные данные должны располагаться в текстовом файле, при этом временные ряды должны быть отделены друг от друга каким либо разделителем. Программа способна распознавать в качестве разделителя дробной части как точку, так и запятую. Файлы могут иметь заголовок любого размера, который так же распознается приложением.

Ю.Ю. Леонтьева  
Научный руководитель – А.А. Орехов  
Муромский институт Владимирского государственного университета  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: itpu@mivlgu.ru

## **Обработка данных в системе геоэкологической безопасности природно-технических объектов**

Разработка алгоритмов обработки информации в системах контроля геодинамических объектов определяется целями и системной методологии проведения контроля. Конечной целью геодинамических исследований является определение текущего состояния геологических структур по регистрируемым геофизическим данным и формирование прогнозных оценок геодинамического развития. В виду сложности структуры земных недр и необходимости учета разнообразных факторов при прогнозной оценке это очень сложная задача. Особая роль в данном случае отводится используемым при интерпретации моделям геодинамических процессов и помехообразующих факторов, определение параметров которых относится к классу некорректно поставленных обратных геофизических задач. Формальный подход к решению данных задач может привести к неустойчивым, нереалистичным моделям. В общем виде решение обратной задачи при геодинамическом контроле сводится к операторному уравнению:

$$(M_S, S) = A^{-1}(d_S), M \in \{M\}.$$

где  $M_S$  – вектор, описывающий модельные параметры объекта;  $d_S$  – наблюдаемый вектор данных;  $S$  – параметры источника зондирующего поля,  $A^{-1}$  – оператор обратной задачи. Следует отметить, что данные всегда регистрируются с шумом, определяемым, как помехами в каналах измерений, так и специфичными климатическими и техногенными факторами.

Предполагается, что организация и метрологическое сопровождение процесса регистрации электромагнитных сигналов мониторинга должно обеспечивать необходимую точность формирования прогнозных оценок на основе применяемых моделей геодинамических объектов, процессов и помех.

Известно, что не существует эффективного универсального метода регистрации геодинамических изменений объекта, обладающего высокой чувствительностью и помехоустойчивостью. Для некоторых объектов может быть более эффективен один метод, для других другой. Поэтому методы информационной обработки, применяемые в системах мониторинга, должны вместе с общностью построения и универсальностью обладать возможностью адаптации под конкретную методику регистрации и соответственно устройства ее реализующие.

Информационная обработка данных геодинамического контроля может быть условно разбита на два этапа. Первый этап – это этап предварительной обработки информации, включающий в себя нормирование и аппаратную поправку регистрируемых данных, а также выделение информативных участков регистрации на основе алгоритмов фильтрации. Кроме того, на данном этапе должен быть предусмотрен тестовый контроль измерительных датчиков и входных цепей (измерительных трактов) комплекса регистрации геодинамики объекта. На втором этапе проводится пространственно-временная обработка информации на основе методов функционального анализа и статистическая оценка геодинамических изменений объекта.

Для определения катастрофических изменений методы анализа временных рядов медленны по отношению к проходящим процессам и не эффективны. Поэтому в основе обработки информации в этом случае стоит функциональный анализ с выделением аномальных составляющей геодинамических изменений с дальнейшей статистической обработкой и оценкой природной и техногенной составляющих геодинамики.

## **Геоэлектрическое моделирование в системе геодинамического контроля**

При организации геодинамического контроля важное значение имеет детальное обоснование и выбор модели, которая должна достаточно полно и точно отражать основные закономерности геодинамических вариаций объекта исследования. Очевидно, что при использовании электромагнитных методов зондирования основными параметрами моделей являются параметры передаточной функции, определяемые пространственно-временным распределением электромагнитных свойств среды. В этом случае применяемая модель должна учитывать как изменения электромагнитных параметров среды, возникающих вследствие действия внешних природных факторов, так и пространственные геодинамические вариации объекта исследования. Роль моделирования при организации системы контроля геодинамических объектов является определяющей, так как построение модулей информационной обработки данных и соответственно оценка геодинамических изменений объекта проводится на основе выбранного класса геоэлектрических моделей.

Набор пространственных параметров, в первую очередь, определяется пространственной размерностью применяемых моделей. Наиболее сильные изменения свойств геологической среды происходят по вертикали, как в масштабе общего строения Земли (осадочный чехол, земная кора, мантия), так и при наличии локальных неоднородностей (слоистые осадочные толщи, смена электрических свойств пород с глубиной под влиянием изменений влажности, выветривания, температуры и процессов льдообразования). Поэтому базовым классом моделей при организации контроля геодинамических объектов можно считать класс одномерных моделей, в которых электромагнитные параметры являются функцией только одной координаты - глубины. В этом классе моделей различают два случая: случай, когда параметры меняются непрерывно (градиентно-одномерные модели) и случай наиболее часто используемых моделей с кусочно-постоянным распределением электромагнитных параметров (горизонтально-слоистые модели).

Более сложным классом геоэлектрических моделей неоднородного геологического массива являются двумерно-неоднородные модели, которые описываются двумерными пространственными функциями. Наиболее сложный класс геоэлектрических моделей – это трехмерные модели. Простейшие случаи трехмерных моделей – локальные трехмерные тела (шар, эллипсоид вращения), расположенные в однородном полупространстве.

При геоэлектрическом моделировании объектов с помощью ЭГМ необходимо исходить из следующих первичных критериев:

- ЭГМ должна быть представлена двумя средами с различными электромагнитными параметрами;
- пространственное строение ЭГМ должно быть простым, но одновременно с достаточной степенью точности соответствовало изучаемым геологическим структурам;
- количество выделенных ЭГМ должно быть достаточным для аппроксимации сложных форм исследуемых геодинамических объектов;
- каждая ЭГМ и ее геодинамика должна однозначно определяться при информационной обработке данных геодинамических исследований на основе применяемых алгоритмов;
- при достижении предельных значений своих пространственных параметров, ЭГМ должны переходить из одной классификационной единицы в другую.

Кроме того, следует отметить, что структура применяемых геоэлектрических моделей должна быть согласована с алгоритмами обработки информации, как в модуле первичной обработки, так и в модуле оценки геодинамики.

Разработан ряд моделей геоэлектрического разреза в виде слоистого несовершенного диэлектрика и ряд моделей приповерхностных неоднородностей.

И.А. Миронина  
Научный руководитель – доцент, канд. техн. наук Н.В. Дорофеев  
*Муромский институт Владимирского государственного университета*  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: itpu@mivlgu.ru

## **Обеспечения геоэкологической безопасности в условиях техногенной активизации экзогенных процессов**

В настоящее время развитие атомной энергетики и увеличение вводимых мощностей АЭС требует изъятия под их строительство больших территорий. Технологическая необходимость использования больших объемов воды в процессе производства электроэнергии приводит к естественному решению - размещению АЭС в районах, обладающих значительными свободными водными ресурсами, в том числе в зонах речных бассейнов, имеющих естественные и искусственные неустойчивые геодинамические структуры (оползни, осыпи, обвалы и зоны развития карста). В процессе работы АЭС, возникают дополнительные техногенные воздействия на окружающую среду, приводящие к активизации экзогенных опасных геодинамических процессов.

В силу этого в районах размещения АЭС происходят характерные изменения геоэкологического состояния среды и формируются особые природно-техногенные комплексы с определенными тенденциями изменений геологической среды, иногда приводящими к негативным необратимым эколого-экономическим последствиям. Многолетние наблюдения за работой АЭС, как в России, так и за рубежом показывают, что наиболее сильно техногенное влияние на геоэкологическое состояние среды проявляется в нарушении водного баланса и изменении состояния и свойств пород в основании сооружений АЭС. Нарушение водного баланса в зоне влияния АЭС связано, прежде всего, с большими объемами технологического водопотребления. Причем данные нарушения естественного водного баланса в зоне влияния АЭС бывают столь велики, что даже при наличии активной естественной дренированности территории они значительно превышают влияние естественных гидролого-климатических факторов.

Эта проблема особенно актуальна при расположении АЭС в зонах речных бассейнов, и в первую очередь речных долин. Основной задачей, направленной на решение данной проблемы, является разработка и внедрение комплекса мер направленного на обеспечение геоэкологической безопасности при активизации экзогенных карстовых процессов речных долин. Одной из мер является построение и размещение системы автоматизированного электромагнитного контроля геодинамических объектов, обеспечивающий решение задач сбора, обработки и анализа данных в условиях динамических изменений геологической среды.

Данная система должна:

- регистрировать электромагнитные сигналы в геологических средах, отличающиеся выделением аномальных составляющих поля и позволяющие повысить геодинамическую чувствительность при проведении автоматизированного контроля;
- проводить геоэлектрическое моделирование и включать базовые модели геодинамических объектов и процессов с учетом влияния климатических и планетарных факторов;
- проводить пространственно-временную обработку сигналов электромагнитных полей, позволяющую сократить время обнаружения кризисных состояний техногенных объектов;
- проводить температурную коррекцию данных геодинамического контроля, учитывающего температурный градиент в исследуемой среде, что позволяет устранить влияние температуры на геодинамическую оценку.

## **Особенности проведения карстологического мониторинга высокотехнологичных промышленных объектов**

На практике для решения проблем защиты природных и техногенных объектов от возможных последствий катастроф, а также контроля за несущей способностью налегающих и подстилающих грунтов в процессе эксплуатации промышленных объектов целесообразно использовать карстологические мониторинговые системы. Они позволяют проводить относительную оценку геомеханических изменений геодинамических объектов и проводить прогнозную оценку возможности техногенных катастроф на основе алгоритмов информационной обработки данных геодинамического контроля.

В данном случае под объектами геодинамического контроля мы понимаем карстовые геодинамические объекты: в общем случае это – геологический разрез, а в частности, это – приповерхностные и глубинные неоднородности карстового происхождения. Исходя из этого, можно сформулировать цели и задачи карстологического мониторинга. Цель карстологического мониторинга заключается в том, чтобы обеспечить защиту промышленных объектов и биосферы за счет организации контроля за карстовыми процессами и прогнозирования неблагоприятных условий возникновения катастроф и уменьшения ущерба от них на основе методов и алгоритмов информационной обработки геодинамических данных.

В соответствии с целью можно сформулировать задачи карстологического геодинамического контроля:

- выделение карстового геодинамического объекта в геологической среде на основе анализа условий проведения геодинамического контроля;
- выбор и определение методов регистрации и определения параметров геодинамики объекта;
- определение помехообразующих факторов и разработка надежных алгоритмов выделения геодинамических изменений;
- оценка и анализ выделенных аномалий на основе применяемых моделей;
- прогнозирование возможности катастрофической геодинамики объекта.

Карстологический мониторинг строится на комплексных наблюдениях за геолого-гидрогеологической обстановкой территории и техногенными воздействиями на геологическую среду (изменение физико-механических свойств покровных отложений, режим подземных вод как в толще карстующихся пород, так и в покровных некарстующихся породах), а также за деформациями земной поверхности, повреждениями сооружений и технологического оборудования. При разработке системы карстологического мониторинга следует учитывать, что требуется предусмотреть условия его взаимодействия и обмена оперативной информацией с другими смежными специализированными мониторингами (гидрогеологическим, гидрологическим, экологическим) с целью повышения его эффективности.

Основой создания системы карстологического мониторинга является комплекс моделей, который должен включать в себя следующие:

- геоморфологические, геологические, гидрологические и гидрогеологические модели развития карста на площадке;
- параметры, характеризующие распространение, характер и расчетную интенсивность проявления карста;
- перечень контролируемых параметров карстопроявлений и предельные их значения в основании сооружений АЭС;
- геомеханические модели карстовых деформаций земной поверхности и основания сооружений АЭС;
- модель развития карстовых процессов в результате техногенной нагрузки на среду.

Е.Ю. Павельева  
Научный руководитель – доцент, канд. техн. наук А.В. Цаплёв  
Муромский институт Владимирского государственного университета  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: itpu@mivlgu.ru

## Анализ влияния климатических факторов на геологическую среду

Климатические факторы определяют интенсивность температурных помех и уровень их влияния на геологическую среду. Анализ данных факторов позволяет предложить структурную схему влияния климатических факторов на систему геологического контроля и геодинамический объект представлен на рис 1.

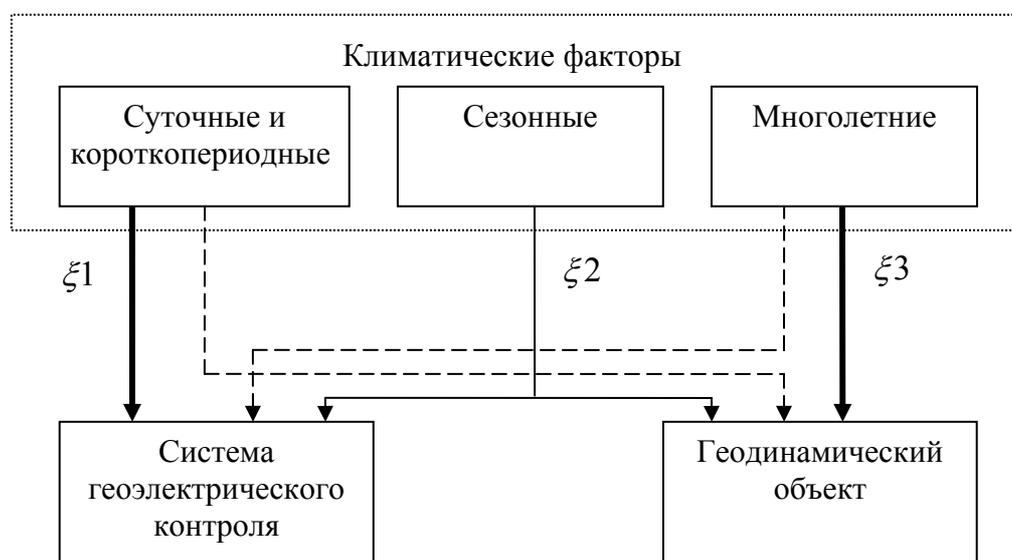


Рис. 1. Структурная схема влияния климатических факторов на геодинамический объект и систему геозлектрического контроля

Как видно на рисунке температурное влияние по продолжительности воздействия можно разделить на многолетние, сезонные и короткопериодные (или суточные). Многолетние температурные вариации  $\xi_3$  являются хаотическими процессами, вызванными планетарными факторами, характер изменения имеет вид медленно изменяющегося тренда и влияние на систему контроля пренебрежимо мало. Сезонные изменения  $\xi_2$  оказывают существенное влияние на геологическую среду и на телеметрическую систему геозлектрического контроля при проведении долговременных наблюдений, они имеют вид трендовых изменений и требуют применения аппаратной коррекции и специальных математических алгоритмов обработки. Наибольшее влияние на метрологические и информационные характеристики телеметрических систем геозлектрического контроля приповерхностных неоднородностей оказывают короткопериодные и суточные вариации температуры  $\xi_1$ .

Математически эти помехи можно описать случайно-стационарными процессами:

$$\xi(t) = \xi_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + \xi_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2) + \xi_3. \quad (1)$$

В соотношении (1)  $\omega$  – определяет периодическую длительность мешающего воздействия, а  $\varphi$  – соответствующий фазовый момент. Средние величины температурных помех для различного периода  $\omega$  согласно ГОСТ 16350-80 определяются климатической зоной, то есть зависят от месторасположения системы и варьируются в больших пределах. Например,

суточная вариация температуры в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом (Москва) составляет 27°C. Кроме этого, изменение температуры может быть вызвано выпадением атмосферных осадков: дождя, снега.

В ходе анализа и проведения экспериментов было выявлено, что основное влияние на точность работы системы оказывает температурная помеха  $\xi_1$ , действующая на линию связи. Влияние сезонной помехи  $\xi_2$  на аппаратную часть системы контроля геодинамических объектов описывается медленно меняющимся трендом. Данная трендовая помеха при решении задач компенсации короткопериодных температурных помех будет устраняться автоматически. Основное влияние помеха  $\xi_2$  оказывает на геодинамические и электромагнитные параметры геологической среды. Данная температурная геодинамическая помеха  $\xi_2$  требует применения дополнительных алгоритмов информационной обработки регистрируемых данных с последующей коррекцией геодинамической модели контролируемого объекта [1].

#### Литература

1. Кузичкин О.Р., Цаплев А.В. Температурная коррекция результатов геомониторинговых исследований на основе параметрических моделей сред. // Проектирование и технология электронных средств. 2007. №2. – С.39-43.

И.Ю. Питерова  
Научный руководитель – доцент, канд. техн. наук Н.В. Дорофеев  
*Муромский институт Владимирского государственного университета*  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: itpu@mivlgu.ru

## **Термографический мониторинг в системе геодинамического контроля**

Для проведения мониторинга приповерхностных неоднородностей применяются системы геодинамического контроля построенные на базе геоэлектрических методов зондирования среды. Геоэлектрические методы зондирования сред основываются на пропускании через верхние земные слои, которые рассматриваются в зоне наблюдения как однородные горизонтально-слоистые участки, переменного электрического тока и вычислении кажущегося удельного сопротивления зондируемой среды. По кажущемуся удельному сопротивлению с определенной долей вероятности можно определить тип и свойства геологической среды. Точность оценки типа геологической среды зависит не только от метрологических характеристик зондирующего и измерительного тракта, но и от свойств самой наблюдаемой среды, а именно от влажности, температуры, геодинамических и геоэлектрических свойств геологической среды. Таким образом, свойства зондируемой среды в текущий момент времени должны быть отражены в виде поправочных коэффициентов при расчете кажущегося удельного сопротивления.

Для регистрации температуры геологической среды в системах геодинамического контроля производят измерения в одной точке на нескольких глубинах, таким образом, получая градиент температуры по глубине. Полученный температурный градиент далее считают одинаковым для всей анализируемой территории. Очевидно, что в этом случае не учитывается изменение температуры по площади, а значит, уменьшается точность оценки и надежность системы геодинамического контроля.

Для получения градиента температуры на всей территории предлагается использовать термографический метод – способ получения изображения в инфракрасных лучах, показывающего картину распределения температурных полей. Для получения термограммы применяются термографические камеры или тепловизоры, которые обнаруживают электромагнитные излучения инфракрасного диапазона (от 900 до 14000 нанометров). В отличие от инфракрасной съемки, которой соответствует температура излучения 250-500 °С, в термографии температурный диапазон составляет от -50 до 2000 °С и выше. Погрешность измерений составляет  $\pm 0.5$  °С, что соответствует погрешности температурных датчиков в системе геодинамического контроля.

Максимальная удаленность современных тепловизоров от объекта исследования, определяется его чувствительностью, пространственным разрешением и минимальным диаметром точки измерения, и составляет 10 – 20 метров. Такого расстояния не хватит, чтобы охватить всю исследуемую территорию, кроме того, наличие природных и промышленных объектов существенно уменьшает территорию, попадающую под обзор тепловизора, что усложняет применение метода термографии при геодинамическом контроле приповерхностных неоднородностей. Для покрытия всей зондируемой территории необходимо включать в состав системы геодинамического контроля несколько тепловизоров, причем их количество существенно возрастает при наличии природных и промышленных объектов на территории (деревья, кустарники, здания и т.п.). В этом случае требуется привязка каждого тепловизора к карте местности, для дальнейшего объединения фрагментов термограммы, полученных с разных тепловизоров. Данная проблема решается с использованием системы глобального позиционирования, например, GPS, Глонас или Galileo.

Таким образом, применение термографического метода на практике при геоэлектрическом мониторинге приповерхностных неоднородностей имеет существенный недостаток – сложность охвата всей территории.

Я.А. Родионова  
Научный руководитель – А.А. Орехов  
*Муромский институт Владимирского государственного университета*  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: itpu@mivlgu.ru

## **Организационная структура геоэкологического мониторинга геодинамических объектов**

В обобщённой структуре выделяются внешние воздействия, природно-техническая система и система геоэкологического мониторинга. Внешними по отношению к геодинамическому объекту воздействия бывают техногенными, экзогенными и климатическими. Экзогенные воздействия оказывают влияния на геодинамический объект SP и гидрогеологические условия. Отдельно выделяются гидрогеологические условия, оказывающие влияние на геодинамические и электромагнитные параметры геодинамического объекта. Техногенное воздействие включает в себя геодеформационные процессы и микросейсмическое воздействие, формируемые посредством деятельности промышленного предприятия. Также сюда относятся промышленные отходы, изменяющие гидрогеологические условия и химический состав геологической среды. Гидрогеологические условия могут изменяться посредством организации предприятием водозаборов.

Климатические воздействия, изменяющие электромагнитные параметры геологической среды, микросейсмические и гидрогеологические воздействия образуют группу помехообразующих факторов.

Природно-техническая система включает в себя инженерно-техническое сооружение, геодинамический объект и систему инженерной защиты, которая организуется предприятием, эксплуатирующим данное сооружение. В геодинамическом объекте выделяются геодинамические и электромагнитные параметры, а также химический состав геологической среды. На геодинамические параметры геологической среды оказывают воздействия геодеформационные процессы, экзогенные факторы и гидрогеологические условия. В свою очередь геодинамические параметры определяют электромагнитные. На химический состав геологической среды оказывают влияния промышленные отходы, а химический состав, в свою очередь, влияет на электромагнитные параметры. Геодинамический объект оказывает влияние на инженерно-техническое сооружение, которое определяется описанными выше составляющими.

Система геоэкологического мониторинга, построенная на базе методов геоэлектрического контроля, посредством подсистемы управления зондирующими сигналами оказывает воздействие на электромагнитные параметры геологической среды. Подсистема сбора данных считывает отклик параметров геологической среды, а также помехообразующие факторы и передаёт на обработку. После проведения обработки поступающей информации, с учётом картографических данных, формируется геодинамическая оценка контролируемой зоны и прогнозная оценка геодинамики среды. Далее, на основе и справочно-нормативных данных в случае обнаружения потенциальной опасности, производится выработка управленческих рекомендаций для сотрудников структуры инженерной защиты для принятия своевременных решений, препятствующих возникновению аварийной либо катастрофической ситуации. Управляющие воздействия оказываются как на геодинамический объект, (укрепление грунта, например), так и на инженерно-техническое сооружение, (вплоть до эвакуации людей и приостановке деятельности предприятия).

Таким образом, на базе разработанной обобщённой структуры организации геоэкологического мониторинга можно судить о существующих помехообразующих факторах, оказывающих влияние на систему, с целью их дальнейшего анализа и устранения. Предложенная организационная структура позволяет построить эффективную систему геоэкологического мониторинга на базе современных решений в области контроля природно-технических систем и обработки информации.

## **Инструменты для обработки данных в географической информационно-аналитической системе мониторинга**

Для атомных электростанций и некоторых других особо ответственных объектов существует необходимость проведения непрерывного комплексного слежения не только за положением в пространстве транспортно-технологического оборудования, имеющего жесткие допуски на фиксацию их в пространстве, но и за геологической средой на которой располагается объект контроля. Причем контроль геологической среды в данном случае должен включать карстологический мониторинг.

Основной задачей геоэкологических исследований является определение текущего состояния геологических структур по регистрируемым геофизическим данным и формирование прогнозных оценок геодинамического развития.

Существует ряд систем мониторинга геологических сред, которые построены на основе геоэлектрических, сейсмических, томографических, гидрогеологических и др. методов. Подобные системы работают автономно и не связаны между собой, поэтому отсутствует централизованный автоматизированный сбор и обработка информации, что уменьшает оперативность получения данных и составления прогнозных оценок. Исходя из этого для объединения систем геологического контроля сред, централизованного управления ими и проведения глобального мониторинга, необходима географическая информационно-аналитическая система (ГИАС).

В состав программного обеспечения ГИАС входит:

- Специализированные алгоритмы для обработки разнородных геоэлектрических, сейсмических и гидрогеологических данных;
- Использование моделей представления геодинамических объектов, нетрадиционное для других информационно-аналитических систем: использование большего числа моделей картографических данных, чем традиционные векторные и растровые данные – векторные тар-карты и sit-карты пользователя, растры и растры качеств, матрицы высот, матрицы качеств и матрицы слоев, 3D-модели геодинамических объектов и др., с уникальными функциями, предоставляющими широкие возможности для представления природных и народно-хозяйственных объектов с их характерными особенностями и свойствами; использование не только объектов и слоев, а и групп слоев, позволяющей производить операции сразу со всеми слоями групп;
- Широчайший набор функций GisToolKit для работы с базами данных, определения расстояний на местности, картографическими проекциями и др. позволяет довольно просто и быстро разрабатывать автоматизированные системы заданного типа;
- Наличие инструментария и удобного интерфейса для импорта/экспорта карт в форматы популярных ГИС-пакетов ArcGIS, MapInfo и др. обуславливает перспективы использования разрабатываемой географической информационно-аналитической системы в службах и организациях, которые требуют дублирования результатов в формате ArcGIS, MapInfo и др. для использования в других приложениях;
- Удобный инструмент для построения тематических карт, который позволяет строить карту сразу по нескольким геодинамическим показателям, отнесенным к их гранично-допустимым значениям, находящимся в базе данных, что позволяет их удобно анализировать;
- Возможность интеграции с Internet-ресурсами, позволяющими в графическом виде анализировать геоэкологическую обстановку.

Р.В. Романов  
Научный руководитель – доцент, канд. техн. наук Н.В. Дорофеев  
*Муромский институт Владимирского государственного университета*  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: itpu@mivlgu.ru

## **Структура географической информационно-аналитической системы геоэкологического мониторинга**

В современном мире все чаще возникает необходимость в защите народно-хозяйственных объектов от влияния природных и техногенных факторов.

В связи с этим в настоящее время большое внимание уделяется разработке и внедрению мониторинговых систем предупреждения катастроф на природных и техногенных объектах. Особое место среди них занимают автоматизированные системы мониторинга геологической среды, построенные на базе применения электромагнитных и сейсмотомографических методов зондирования, обеспечивающих эффективную организацию наблюдений за геодинамическими объектами, оценку их состояния и прогноза развития.

Основной метод такой защиты является геоэкологический мониторинг с применением географической информационно-аналитической системы геоэкологического мониторинга.

Географическая информационно-аналитическая система геоэкологического мониторинга предназначена для объединения разнородных геоэлектрических, сейсмических и гидрогеологических комплексов в общую информационно-аналитическую среду.

Структура системы состоит из набора серверных компонентов и клиентских приложений, используя при построении возможности промежуточного уровня в архитектуре клиент-сервер распределённых систем, корпоративного сервера приложений. Основой системы является сервер, это центральная часть системы и в то же время - это промежуточное звено между хранимыми в системе данными и клиент-приложениями системы, работающими с этими данными.

Для обыкновенного пользователя вся работа строится на взаимодействии с сервером приложений. Он может не знать, как организованы и хранятся семантические и пространственные данные глубже, за сервером приложений. Более того, пользователь может даже не заметить, что изменились, например, принципы хранения данных. Работы клиент-приложений, при изменениях в принципах хранения данных, не меняются.

Возможно, распределить на несколько физических серверов работу сервера. Один сервер работает с семантической информацией, второй же сервер при этом заточен на работу с пространственными, графическими данными. При этом происходит распределение нагрузки по типам запросов клиентских программ. Однако система делится не только на модули семантика и графика, так же можно использовать данные серверы для работы с отчётами, работы с описательной информацией - ГИС-моделями и т.д.

Вся работа системы неуклонно отвечает критериям безопасности в работе со служебными данными. И безопасность здесь подразумевается распределённая. Управление политиками безопасности в системе перенесено также на уровень корпоративного сервера. Поскольку корпоративный сервер - это промежуточное звено между обрабатываемой информацией и клиентами, то вся система безопасности находится именно в этом промежуточном звене. Такое решение позволяет достигнуть нужной гибкости в вопросах безопасности и прозрачности в изменениях системы безопасности для конечных пользователей системы. Уровень доступа в системе определяется для каждого пользователя или одновременно для нескольких пользователей. При этом уровень доступа определяется как для семантических данных, так и для графических. Можно определять доступ пользователя отдельно к каждому графическому слою.

## **Система для геоэлектрического контроля качества поверхностных и подземных вод**

Качество поверхностных и подземных вод определяют по наличию в них веществ неорганического и органического происхождения, а также микроорганизмов и характеризуют различными физическими, химическими и биологическими показателями. Электропроводность воды определяется суммой растворенных солей, и во многих странах мира рассматривается как основной базовый показатель качества природных вод. Электропроводность – удобный суммарный индикатор показателя антропогенной нагрузки. Знание значения электропроводности может быть использовано для контроля качества поверхностных, грунтовых, технологических и сточных вод.

Кондуктометрия – совокупность электрохимических методов анализа качества природных, основанных на измерении электропроводности растворов. Данный способ рекомендуется как экспрессивный в системах экологического мониторинга природных вод, т.к. не требует много времени для проведения анализа.

Кондуктометрический метод при контроле качества поверхностных и подземных вод имеет ряд недостатков:

- в связи с использованием контактного способа измерения датчики подвержены быстрому засорению, и через определённый промежуток времени становятся непригодными;
- контроль является точечным, т.к. осуществляется только в определённом ограниченном участке водоёма.

Целью данного проекта является разработка программно-аппаратного комплекса, позволяющего проводить экспресс-анализ качества поверхностных и подземных вод в рамках системы экологического мониторинга. Разрабатываемый комплекс предназначен для выявления и отслеживания, наблюдения, оценки и формирования прогнозов экологической обстановки поверхностных и подземных вод на территории народно-хозяйственных объектов.

Принцип действия разрабатываемого комплекса основан на методах геофизической электроразведки, заключающихся в исследовании особенностей распространения постоянных и переменных электромагнитных полей в приповерхностном подземном слое и определении по измеренным полям электромагнитных параметров среды. Исследуемой средой в данном случае является вода либо зона аэрации, а исследуемым параметром – её электропроводность.

Для интерпретации результатов зондирования существует ряд геоэлектрических моделей. Очевидно, что для случая прибрежного зондирования, в связи с имеющимся разделом земля-вода, где электропроводность среды меняется и в горизонтальном направлении, наиболее подходит модель остроугольного клина с точечным источником тока на земной поверхности. Для интерпретации результатов экологического мониторинга грунтовых вод целесообразно применять горизонтально-слоистую модель.

Использование стандартных электроразведочных контактных датчиков, представляющих собой угольные стержни, несет в себе множество недостатков: поверхности датчиков в длительном промежутке времени подвержены образованию пленки окислов, что изменяет условия эксперимента; большое значение постоянной составляющей измеряемого параметра и др. В связи с этим, для измерения параметров породы используется бесконтактный трансформаторный датчик, который представляет собой кольцевой ферромагнитный сердечник с обмоткой.

В связи с тем, что расстояние от датчика до системы сбора может достигать нескольких сотен метров, вместо стандартной аналоговой линии целесообразно применить цифровую. Для этого в конструкцию датчика необходимо включить цифровой сигнальный контроллер, производящий оцифровку зарегистрированных сигналов и передачу данных на цифровую линию.

И.М. Теленин  
Научный руководитель – доцент, канд. техн. наук Н.В. Дорофеев  
*Муромский институт Владимирского государственного университета*  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: itpu@mivlgu.ru

## **Система управления реестром замкнутых понижений земной поверхности**

При проведении карстологического анализа, карстологического мониторинга, геодинамического мониторинга и изыскательных работ собирается и обрабатывается информация обо всех замкнутых земных поверхностях исследуемой территории, таких как карстовые провалы, воронки, впадины.

Поскольку распределенная геофизическая система контроля при проведении геодинамического мониторинга работает в реальном масштабе времени, то возникает необходимость в оперативности поступления и обработке данных с учетом уже имеющейся в больших объемах информации. Скорость работы пункта обработки во многом зависит от структуры имеющейся базы данных, времени требующегося на обработку данных и поиска необходимой информации. Особую роль в системе геодинамического мониторинга при получении прогнозных оценок играют данные об уже имеющихся замкнутых понижениях земной поверхности, однако на данный момент не существует общего реестра замкнутых понижений и отсутствует автоматизированной системы управления этим реестром.

Систематизация и структуризация геодезической информации для последующего компьютерного хранения и обработки может быть обеспечена путем проектирования нормализованной базы данных. При разработке реестра замкнутых понижений земной поверхности учитывались следующие их характеристики: геометрические размеры, форма и тип, возраст, географические параметры, характер и степень растительности, наличие и характеристики водопоглощающих поноров.

Разработанное пользовательское приложение в комплексе с базой данных представляет собой систему управления реестром замкнутых понижений земной поверхности. Приложение имеет удобный, интуитивно понятный, а, следовательно, легко осваиваемый пользователем интерфейс.

Система управления реестром выполняет следующие функции:

- обеспечивает хранение паспортов замкнутых понижений земной поверхности;
- формирует статистическую отчетную документацию о частоте появления сигналов с выбранными параметрами, о местах их появления;
- осуществляет поиск по заданным параметрам с возможностью формирования отчетной информации по найденным замкнутым понижениям, сканирует базу данных на предмет идентичности замкнутых понижений по их параметрам.

Тип разработанной базы данных – DB2. Система управления базой данных разрабатывалась на объектно-ориентированном языке высокого уровня Borland Delphi.

## Определение характеристик распределения случайной составляющей геодинамических измерений

При проведении геоэлектрического контроля геодинамических объектов регистрируемые данные зашумлены помехой довольно сложной структуры. Эта структура определяется разнообразием помехообразующих факторов – на результаты измерений влияют климатические, гидрологические, планетарные, техногенные и другие явления. Некоторые из них носят циклический характер, другие – случайный. Таким образом, для устранения влияния помехи на результаты измерений геоэлектрического контроля с целью повышения эффективности функционирования системы геодинамического мониторинга, необходимо выявить характеристику распределения случайной составляющей этих измерений.

Наиболее часто в качестве полных характеристик распределения случайной величины используются функция распределения (интегральная функция распределения) и плотность распределения (дифференциальная функция распределения). Распределение числовой случайной величины – это функция, которая однозначно определяет вероятность того, что случайная величина принимает заданное значение или принадлежит к некоторому заданному интервалу.

Наиболее распространёнными способами представления эмпирических данных являются гистограммы. Гистограмма состоит из последовательности примыкающих друг к другу прямоугольников. Ширина этих прямоугольников равна ширине интервалов группировки и откладывается по оси абсцисс, а их высота измеряется по оси ординат прямоугольной системы координат. Число наблюдений, попадающих в определённый интервал, выражается площадью соответствующего прямоугольника. Основание прямоугольника равно ширине интервала группировки, а высота его такова, что площадь прямоугольника пропорциональна частоте попадания в данный интервал. Далее по виду построенной по эмпирическим данным гистограммы представляется возможным подобрать теоретическое распределение.

На практике широко применяются различные теоретические распределения. Пусть в каждом из  $n$  независимых испытаний событие  $A$  может произойти с одной и той же вероятностью  $p$  (следовательно, вероятность неоявления  $q = 1 - p$ ). Дискретная случайная величина  $X$  – число наступлений события  $A$  – имеет распределение, которое называется биномиальным. Распределение Пуассона представляет собой предельный случай биномиального, когда вероятность  $p$  очень мала, а число испытаний  $n$  велико. Таким образом, им можно пользоваться при описании частот распределения редких событий. Также применяются равномерное и показательное (экспоненциальное) распределение. Но наибольшее распространение получило нормальное распределение (или распределение по закону Гаусса). Если предоставляется возможность рассматривать некоторую случайную величину как сумму достаточно большого числа других случайных величин, то данная случайная величина обычно подчиняется нормальному закону распределения. Суммируемые случайные величины могут подчиняться каким угодно распределениям, но при этом должно выполняться условие их независимости (или слабой независимости). Также ни одна из суммируемых случайных величин не должна резко отличаться от других, т.е. каждая из них должна играть в общей сумме примерно одинаковую роль и не иметь исключительно большую по сравнению с другими величинами дисперсию. Этим и объясняется широкая распространённость нормального распределения. Оно возникает во всех явлениях, процессах, где рассеяния случайной изучаемой величины вызывается большим количеством случайных причин, влияние каждой из которых в отдельности на рассеяние ничтожно мало.