

УДК 621.396

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

**Кузичкин Олег Рудольфович**

доктор технических наук, профессор Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

**Дорофеев Николай Викторович**

кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

**Цаплев Алексей Вячеславович**

кандидат технических наук, доцент Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

**Кулигин Михаил Николаевич**

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

**Холкина Наталья Евгеньевна**

доцент Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

Адрес: 602264 Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, д. 23.

*Аннотация:* В данной статье рассматриваются методы геодинимического и гидрологического мониторинга, основанные на электромагнитных методах (эквипотенциальный геоэлектрический метод контроля с регистрацией фазовых характеристик эллиптически поляризованного поля, магнитотеллурический метод) и кондуктометрическом методе контроля качества водных объектов. Предлагаемые электромагнитные методы контроля и мониторинга направлены на выявление таких геодинимических объектов и процессов, как карсты и оползни, глубинные деформационные процессы. Так же в статье рассматриваются примеры автоматизированных систем геодинимического контроля (приповерхностного и глубинного) и геоэкологического мониторинга (гидрологический контроль). Кроме этого, в статье приводится структурная схема влияния внешних факторов на электромагнитные свойства грунта, схема геоэлектрического зондирования подземных вод и структура измерительного комплекса распределенной системы магнитотеллурического зондирования.

*Ключевые слова:* системы геодинимического контроля, обработка геоэлектрических сигналов, обработка геомагнитных сигналов, бесконтактный трансформаторный датчик, эквипотенциальный геоэлектрический метод, зона аэрации, мониторинг водных объектов.

### Введение

Многочисленные примеры экологических катастроф, как на объектах жизнеобеспечения, так и

в промышленных производственных зонах, возникающих вследствие постоянно растущей техногенной нагрузки на геологическую среду и

нарушений нормативно - правовых требований, служат убедительным доказательством актуальности проблемы мониторинга природно-технических сред и необходимости разработки новых методов или усовершенствования существующих систем мониторинга [1, 2].

### Геоэлектрические системы

Системы геодинамического контроля на базе геоэлектрических методов зондирования, наиболее эффективны при организации слежения за геодинамическими объектами и приповерхностными неоднородностями [3].

Однако применение существующего геоэлектрического оборудования не позволяет организовать проведение долговременных наблюдений. Причинами этого являются окисление приемных электродов со временем, сильная зависимость результатов от климатических параметров [4].

Для уменьшения влияния зависимости электромагнитных свойств геологической среды от помехообразующих факторов на результаты геодинамического мониторинга и повышения эффективности работы подобного класса систем, предлагается структура информационной обработки подсистемы прогнозирования геодинамики, представленная на рис. 1.

Предлагаемая структура информационной обработки подсистемы прогнозирования хорошо сочетается с модульной и сервис-ориентированной архитектурой ГИАС. Данную структуру можно с легкостью расширять, подключая к распределенной системе глобального геоэкологического мониторинга новые измерительные комплексы и базы данных.

Рассмотренная структура, а, соответственно, и прогнозирующая функция не описывают всех факторов. Так, например, при оценке свойств грунта отсутствуют параметры покрытия грунта, фазы и активности солнца и т.п., хотя данные параметры учитываются косвенно при измерении градиента температуры грунта по глубине и получении метеорологических данных.

В ходе экспериментальных исследований было выяснено, что при геодинамическом контроле основными помехообразующими факторами, ограничивающими возможности применения

подобных методов и оборудования, является температурная и гидрологическая помеха [5].

Так как система контроля является распределенной в пространстве, то необходимо учитывать влияние мешающих факторов не только на саму систему, но и на объект исследования – геологическую среду. При долговременных наблюдениях уровень влияния климатических помех может значительно превышать уровень полезного сигнала. Возникает сложная задача выделения из трендовых измерений геодинамическую составляющую.

Для устранения и компенсации температурной помехи предлагается использовать дополнительные алгоритмы обработки, такие, как [6, 7]. Применение подобного подхода требует специализированной математической обработки результатов измерений [8].

Данная задача усложняется еще больше в условиях интенсивной застройки зоны наблюдения. Для решения этой задачи предлагается использовать эквипотенциальный геоэлектрический метод контроля с регистрацией фазовых характеристик эллиптически поляризованного поля, как обладающий наибольшей чувствительностью к геодеформационным изменениям [9]. В качестве приемников предлагается использовать бесконтактные трансформаторные датчики, позволяющие фиксировать малейшие изменения и способные работать в долговременном круглосуточном режиме без существенного отклонения своих метрологических характеристик [10]. Данные датчики представляют собой тороидальные трансформаторы, у которых в качестве первичной обмотки выступает геологическая среда. Со вторичной обмотки повышающего трансформатора измеряемый сигнал поступает на нормирующий усилитель и далее подвергается программно-аппаратной обработке.

Таким образом, два ортогонально расположенных друг к другу датчика, установленные в одном месте, позволяют измерять продольную и поперечную составляющую электрического поля в геологической среде. По результатам этих измерений и заданным параметрам зондирующего сигнала становится возможным определить коэффициент передачи среды.

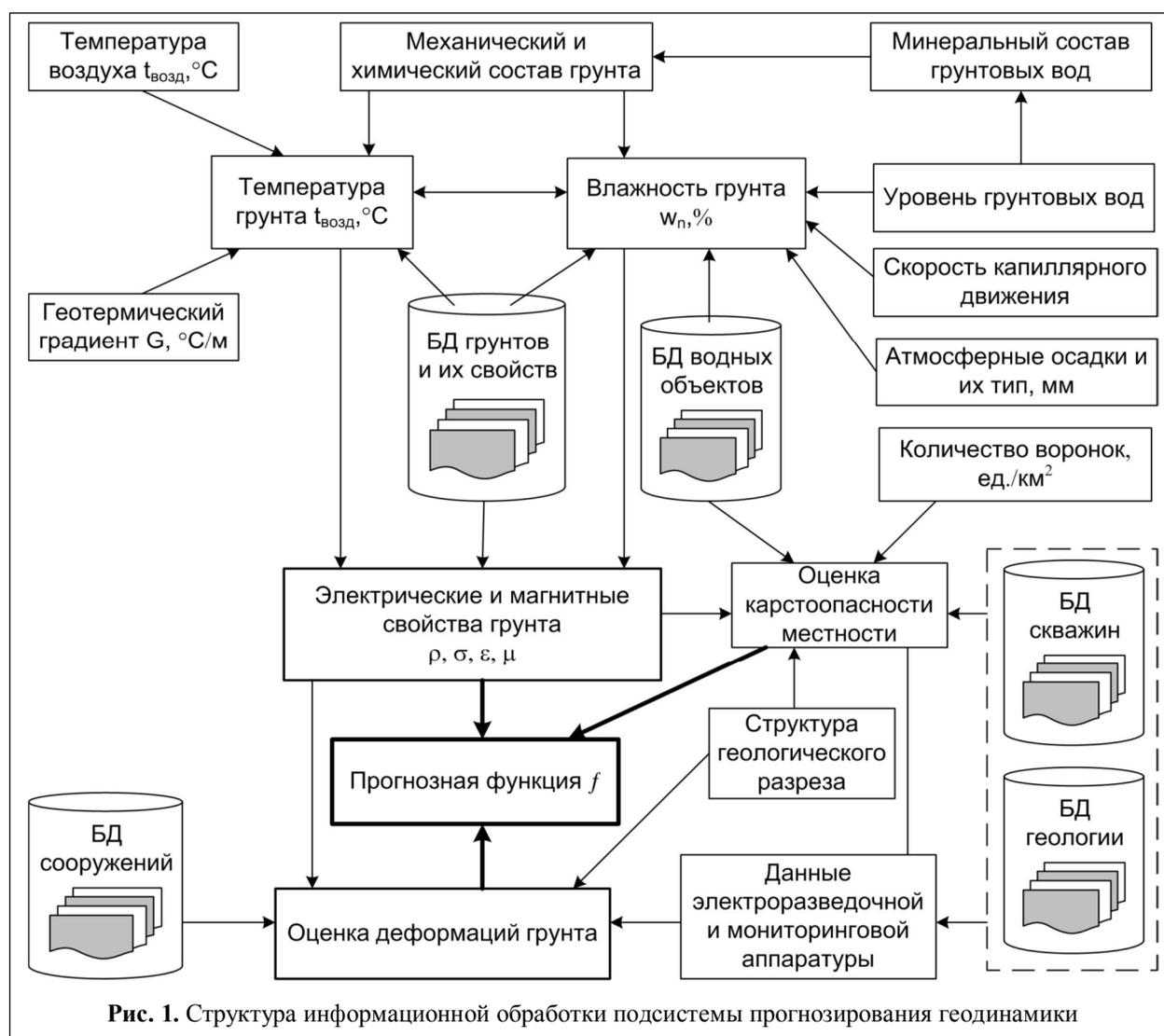


Рис. 1. Структура информационной обработки подсистемы прогнозирования геодинамики

Используя распределенную сеть установленных ортогонально датчиков можно организовать проведение мониторинга на достаточно большой территории. Данный подход позволил организовать проведение геоэкологического мониторинга на промышленных предприятиях. Учитывая существующие постройки можно взаимно расположить систему датчиков таким образом, чтобы обеспечить наибольшую чувствительность системы на конкретном геодинамически нестабильном участке.

Большую роль при локализации и идентификации геодинамики среды играют модели приповерхностных неоднородностей и геологической среды в целом. Каждую геодинамическую неоднородность предлагается представлять в виде геоэлектрической модели сре-

ды [11]. Данная модель описывает геометрические и электрические параметры объекта, кроме этого учитывается и взаимное расположение приемников и источников сигнала пространственно распределенной системы.

Для адаптации системы к анизотропности геологической среды и более точной локализации геодинамического процесса используется несколько источников зондирующего сигнала. Слежение за геодинамическими изменениями осуществляется за счет управления параметрами зондирующих сигналов при одновременной регистрации амплитудно-фазовых характеристик поля и компенсации текущего тренда геоэлектрических сигналов в точках наблюдения [12, 13].

Предлагаемые методы и алгоритмы были реализованы (рис. 2) и апробированы на геодинамическом полигоне. Общий алгоритм работы системы представлен на рис. 3. Применение подобных решений позволило не только фиксировать деструктивные изменения, но и оперативно локализовать их местоположение.



Рис. 2. Геоэлектрическая система контроля

**Экологический контроль воды**

В настоящее время в связи с загрязнением окружающей среды всё большую актуальность приобретает вопрос оценки качества природной воды и возможности её применения для конкретных видов жизнедеятельности человека, а также выявления антропогенного влияния на водные объекты. Однако, в связи с тем, что эта оценка проводится по нескольким десяткам химических параметров, данный анализ представляет собой достаточно трудоёмкий и длительный процесс.

Так, например, геоэкологический мониторинг городов осуществляется при помощи системы регулярных наблюдений за состоянием недр и процессами, в них происходящими. Подобные системы включают в себя наблюдательную сеть скважин, расположенных на территории таким образом, чтобы максимально полно отражать динамические и гидрохимические особенности режима грунтовых вод. Сбор информации осуществляется механическим способом с помощью наблюдателей, проводящих отбор проб воды для дальнейшего их анали-

за в лаборатории. Такой способ существенно замедляет процесс экологического мониторинга.

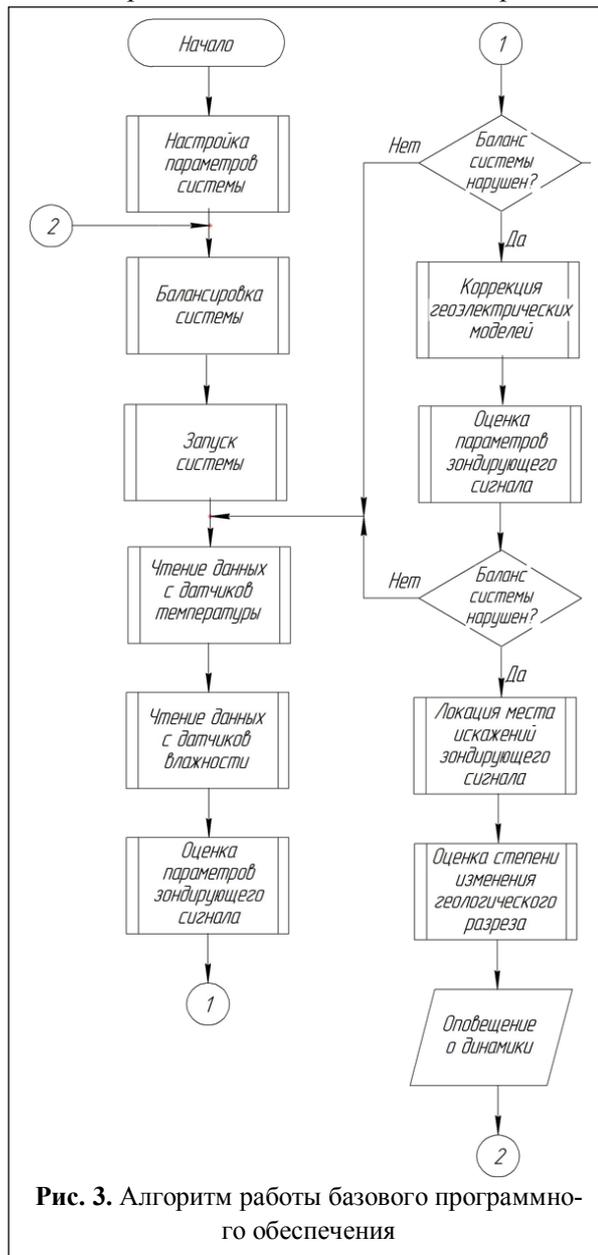
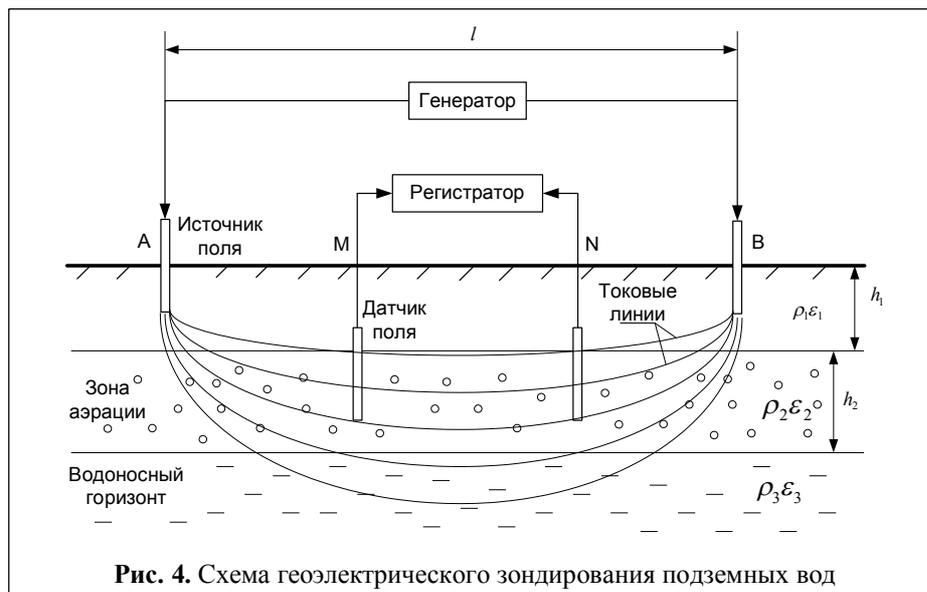


Рис. 3. Алгоритм работы базового программного обеспечения

Поэтому, возникает необходимость в разработке и внедрении метода, позволяющего проводить экспресс-анализ качества поверхностных и грунтовых вод в реальном времени в рамках региональных систем экологического мониторинга.



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. Значения электропроводности может быть использовано для контроля качества поверхностных, грунтовых, технологических и сточных вод.

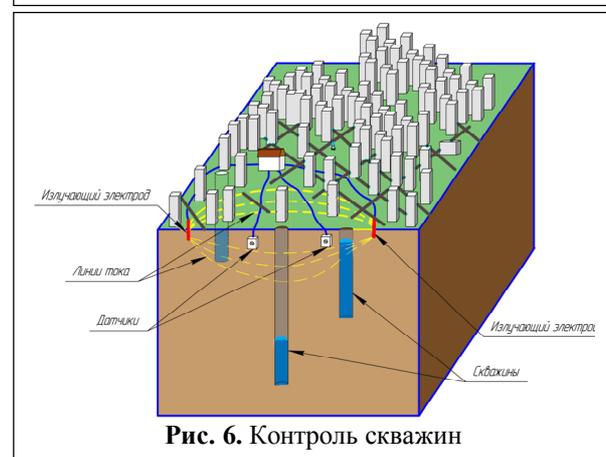
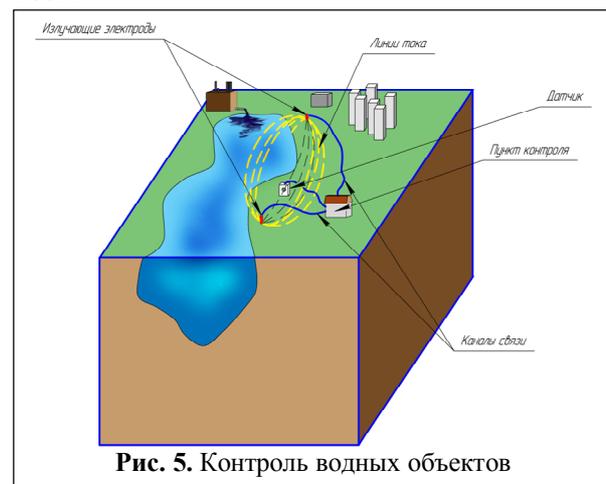
Авторским коллективом предлагается использовать геоэлектрический метод контроля качества водных объектов (рис. 4). Принцип действия данного метода основан на методах геофизической электроразведки, заключающихся в исследовании особенностей распространения постоянных и переменных электромагнитных полей и определении по измеренным полям электромагнитных параметров среды [14, 15]. Исследуемой средой в данном случае является вода (рис. 5) либо зона аэрации, а исследуемым параметром – её электропроводность. Кондуктометрический метод позволяет проводить долговременный мониторинг за качеством воды в скважинах или контроль уровня воды в них (рис. 6).

Данный метод предусматривает подачу переменного напряжения на электроды, погру-

женные в жидкость, измерение активного сопротивления между ними непосредственно или с диэлектриком, и расчет удельной электропроводности по результатам измерений.

Для интерпретации результатов зондирования существует ряд моделей. Очевидно, что для случая прибрежного зондирования, в связи с имеющимся разделом зем-

ля-вода, где электропроводность среды меняется и в горизонтальном направлении, наиболее подходит модель остроугольного клина с точечным источником тока на земной поверхности.



На основе принципа геоэлектрического контроля геодинамических объектов разработан программно-аппаратный комплекс для проведения экологического мониторинга поверхностных и подземных вод. Комплекс предназначен для выявления, отслеживания, оценки и формирования прогнозов экологической обстановки поверхностных и подземных вод на территории населённых пунктов, предприятий и народно-хозяйственных объектов (рис. 7).



Рис. 7. Система мониторинга водных объектов

### Глубинное магнитотеллурическое зондирование

Разработка комплекса мер, направленного на обеспечение геоэкологической безопасности, не может обойтись без включения в систему мониторинга и прогнозирования аппаратуры для наблюдения за глубинными геодинамическими процессами (рис. 8) [16]. Подобного рода аппаратура реализует магнитотеллурический метод зондирования геологической среды. Существующие системы магнитотеллурического зондирования используются в инженерно-геологических задачах и для поиска месторождений полезных ископаемых. Глубина зондирования в этом случае достигает первых десятков километров. Для построения геологического разреза мощностью более сотни километров должны использоваться зондирующие сигналы ультранизкочастотного диапазона (десятые, сотые, тысячные доли Гц). Искусственно создать такие электромагнитные сигналы достаточно проблематично, поэтому в качестве их предлагается использовать естественные

электромагнитные сигналы, которые создаются в ионосфере под действием солнечного ветра.

Глубина, на которую проникает зондирующий сигнал, напрямую зависит от его частоты. Поскольку в глубинном зондировании необходимы сигналы ультранизкочастотного диапазона, то на их роль подходят Pc-4, Pc-5, Pc-6, Pi-2, Pi-3 сигналы геомагнитного поля. Наибольший интерес для систем глубинного магнитотеллурического зондирования из-за своей иррегулярности вызывают Pi-2 сигналы. Иррегулярность геомагнитных сигналов этого типа заключается в их непостоянном спектральном составе, что вызывает затруднения при оценке параметров этих сигналов и их идентификации. Однако, неоднородность спектрального состава, а так же наличие сразу нескольких частотных компонент в Pi-2 сигналах позволяет проводить мониторинг сразу нескольких земных слоев.

Из-за сложности идентификации Pi-2 сигналов (затруднения возникают даже у экспертов) и их иррегулярности достаточно сложно создать математическое описание, которое позволило бы с большой точностью описать все реализации этих сигналов. Наибольшее приближение к реальным Pi-2 сигналам дает математическая модель, описанная в работе [17]. В работе [18] предлагается модификация этой математической модели, позволяющая сократить время обнаружения и структуру обнаружителя.



Рис. 8. Система глубинного мониторинга

Точность и достоверность работы системы глубинного геодинамического мониторинга, построенной на базе магнитотеллурических методов зондирования с применением естественных сигналов геомагнитного поля, опре-

деляется, так же, качеством работы алгоритмов распределенной и предварительной обработки. Эти алгоритмы обработки иррегулярных геомагнитных сигналов типа P1-2 хорошо освещены в работах [19, 20]. Для реализации данных алгоритмов и организации единой географической информационно-аналитической системы предлагается структура измерительного комплекса, приведенная на рис. 9.

После оцифровки и усиления сигнал  $x(i)$  с геовольтметров и магнетометров поступает на вход банка вейвлет-фильтров. На выходе вейвлет-фильтров получается не только сигнал  $x_w(i)$  в частотном диапазоне, принадлежащий P1-2 сигналам, но и информация о спектральном составе: количество спектральных компонент, время их появления и пропадания, амплитуды гармоник и т.п.

Далее вычисляется амплитудная огибающая отфильтрованного сигнала, и определяются её экстремумы  $min_i, max_i$ . При нахождении минимумов учитывается пороговое правило:  $min \geq 10$  нТл.

Найденные экстремумы подаются на блок формирования границ временного окна. Определение границ временного окна является необходимым условием для формирования эталонного сигнала для блока обнаружителей. Временное окно определяется на основании двух соседних минимумов огибающей и лежащего между ними максимума. При этом временное окно должно находиться в пределах

от 300 с до 600 с. В случае выхода за эти пределы времени между двумя соседними минимумами, к анализу привлекается дополнительный минимум, обнаруженный в при дальнейших процедурах обработки отфильтрованной последовательности.

После того, как определена огибающая, найдены экстремумы и временное окно, формируется математическая модель эталонного сигнала для блока обнаружителя. Блок обнаружения работает по байесовскому критерию на основе отношения правдоподобия описанного в работе [21].

Если блок обнаружения выносит решение о присутствии в рассматриваемой реализации P1-2 сигнала, то вся информация о нем сохраняется в базе данных и передается на центральный сервер для определения пространственных параметров P1-2 сигналов и эпицентра их возникновения.

После определения всех параметров зондирующего сигнала они передаются на наблюдательные посты, где на их основе производится выделение отраженного сигнала, вычисление кажущегося удельного электрического сопротивления контролируемых земных слоев и формирование прогнозных оценок геодинамики.

Таким образом, предлагаемые методы, алгоритмы и подходы реализованы в виде программно-аппаратного комплексов для проведения долговременного автоматизированного мониторинга таких геологических объектов как кар-

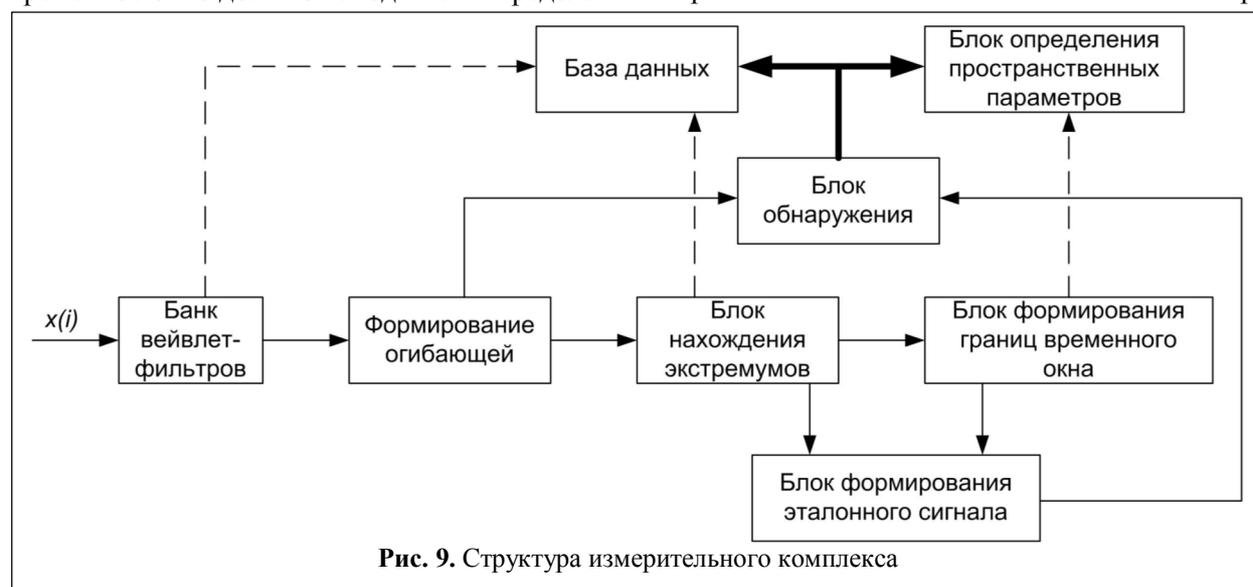


Рис. 9. Структура измерительного комплекса

сты, оползни или глубинные деформационные процессы, с помощью геоэлектрических методов, а также методов гидрологического контроля состояния водных объектов.

### Литература

1. *Дорофеев Н.В.* Геоэкологическая безопасность промышленных объектов в геодинамически активных зонах. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. - 2013. № 28.- С. 32-37;
2. *Кузичкин О.Р.* Методы и устройства обработки информации в системе мониторинга импульсных геомагнитных источников. М.: САЙН-ПРЕСС, 2008. – 168 с.
3. *Кузичкин О.Р., Еременко В.Т., Цаплев А.В.* Применение локальных первичных преобразователей электрического поля в системах мониторинга геодинамических объектов./ Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, № 9, 2008. - С. 50 – 54.
4. *Кузичкин О.Р., Кулигин М.Н., Калинкина Н.Е.* Регистрация геодинамики поверхностных неоднородностей при электроразведке эквипотенциальным методом./ Методы и средства передачи и обработки информации. Вып.1. – СПб.: Гидрометеоздат, -2001.- С.107-109.
5. *Орехов А.А., Дорофеев Н.В.* Исследование влияния режима подземных вод на контроль геодинамических объектов./ Алгоритмы, методы и системы обработки данных. № 3(21), 2012. - С. 47-53.
6. *Цаплев А.В., Кузичкин О.Р.* Температурная коррекция результатов геомониторинговых исследований на основе параметрических моделей./ Проектирование и технология электронных средств. 2007. №2. - С.39-43.
7. *Цаплев А.В., Кузичкин О.Р.* Алгоритм параметрической температурной коррекции результатов геоэлектрического зондирования./ Вопросы радиоэлектроники, сер. ОТ, 2010, вып.1.- С.128-133.
8. *Цаплев А.В., Кузичкин О.Р.* Применение регрессионной обработки для компенсации температурных помех в системах геоэлектрического контроля./ Радиопромышленность. 2012. № 2. -С. 147-153.
9. Фазовый модулятор. Патент РФ №56031 G 06 G 7/18. / *О.Р. Кузичкин, М.Н. Кулигин, А.В. Цаплев.* Оpubл. 27.08.2006. Бюл. №24.
10. *Орехов А.А., Дорофеев Н.В., Романов Р.В.* Техническая диагностика в блоках трансформаторных датчиков систем геодинамического контроля./ Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, №2(16), 2013. - С. 29-32.
11. *Кузичкин О.Р., Кулигин М.Н., Финогенов С.А.* Спектральное описание элементарных геоэлектрических моделей карстовых неоднородностей./ Методы и средства передачи и обработки информации. Вып.4. – СПб.: Гидрометеоздат. 2004. – С.137-141.
12. *Цаплев А.В., Кузичкин О.Р.* Фазовое управление многополюсной электролокационной установкой в геомониторинговых измерительных системах. Методы и средства передачи и обработки информации. – Вып.9. – М.: Радиотехника, 2007.
13. Устройство для измерения параметров сигнала. Патент РФ № 64384./ *Кузичкин О.Р., Цаплев А.В.* Оpubл. 28.02.2007. Бюл. №6.
14. *Орехов А.А., Дорофеев Н.В.* Геоэлектрическое моделирование подземных водных объектов./ Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, №4, 2012. - С. 16-19.
15. *Орехов А.А., Дорофеев Н.В.* Система для экологического мониторинга водных объектов на базе метода геоэлектрического контроля./ Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, №2, 2012. - С 4-8.
16. *Жданов М.С.* Электроразведка: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1986. – 316 с.
17. *Дорофеев Н.В., Кузичкин О.Р.* Задача структурного анализа иррегулярных возмущений геомагнитного поля./ Современные проблемы радиоэлектроники. – вып. 2. – Ростов-на-Дону: - Изд-во РГПУ, 2008. – С. 54-58.
18. *Трелина Е.В., Дорофеев Н.В.* Математическая модель локального описания иррегулярных возмущений геомагнитного поля в окрестности точки наблюдения./ Методы и устройства передачи и обработки информации, 2012, вып. 14. - С. 71-73.
19. *Дорофеев Н.В., Кузичкин О.Р.* Алгоритм выделения иррегулярных возмущений геомагнитного поля на сети станций./ Математическое и программное обеспечение вычислительных систем. – М.: Изд-во «Горячая линия – Телеком», 2007. – С. 28-32.
20. *Кузичкин О.Р., Благов М.Н.* Обнаружение сигнала иррегулярного возмущения на основе регрессионного анализа./ Радиотехника, №6, 2006.\ С. 123-125.
21. *Дорофеев Н.В., Кузичкин О.Р.* Алгоритм обнаружения и выделения Рi-2 сигналов в системах геодинамического контроля на основе вейвлет-анализа./ Радиотехника, №5, 2009. - С. 49-54.

Поступила 09 сентября 2013 г.

## English

**Methods and Means of Computer-Aided Geodynamic Control and Geo-Ecological Monitoring**

*Kuzichkin Oleg Rudolfovich* – Doctor of Engineering, Professor Murom Institute (branch) “Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov”.

*E-mail:* itpu@mivlgu.ru.

*Dorofeev Nikolay Viktorovich* – Candidate of Engineering, Head of the Department of Monitoring and Control in Engineering Systems Murom Institute (branch) “Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov”.

*Tsaplev Aleksey Vyacheslavovich* – Candidate of Engineering, Associate Professor of Murom Institute (branch) “Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov”.

*E-mail:* arhiav@yandex.ru

*Kuligin Mikhail Nikolaevich* – Candidate of Engineering, Associate Professor of Department Murom Institute (branch) “Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov”.

*Kholkina Nataliya Evgenievna* – Associate Professor of Murom Institute (branch) “Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov”.

*Address:* Orlovskaya st., 23. Vladimir region, Murom, 602264, Russia.

*E-mail:* kaf-eivt@yandex.

**Abstract:** The paper deals with the methods of geodynamic and hydrological control and monitoring based on electromagnetic methods (a magnetotelluric method in which an equipotential geoelectric control method with registration of phase characteristics of an elliptically polarized field) and a conductometric method of quality control of bodies of water. The proposed electromagnetic methods of control and monitoring aim to identify such geodynamic objects and processes as karsts, landslides, and deep-earth deformation processes. The paper also gives examples of computer-aided systems of geodynamic control (near-surface and deep-earth) and geo-ecological monitoring (hydrological control). The article also includes a block diagram of external agencies influence on electromagnetic soil properties, the geoelectric sounding scheme of groundwater and the measuring complex structure of distributed system of magnetotelluric sounding.

**Key words:** systems of geodynamic control, processing of geoelectric signals, processing of geomagnetic signals, contactless transformer sensor, equipotential geoelectric method, zone of aeration, water bodies monitoring.

**References**

1. *Dorofeev N.V.* Geo-Ecological Safety of Industrial Enterprises in Geodynamic Active Zones. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. 2013. № 28. P. 32-37.
2. *Kuzichkin O.R.* Methods and Devices for Information Processing in System of Pulse Geomagnetic Sources Monitoring. Moskva, izd-vo SAJN-PRESS, 2008. 168 pp.
3. *Kuzichkin O.R., Eremenko V.T., Tsaplev A.V.* Use of Local Primary Converters of Electric Field in the Systems of Geodynamic Objects Monitoring. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika*, № 9. 2008. P. 50-54.
4. *Kuzichkin O.R., Kuligin M.N., Kalinkina N.E.* Recording Surface Irregularity Geodynamics in Electrical Prospecting by Equipotential Method. *Metody i ustrojstva peredachi i obrabotki informacii. Vyp.1.* SPb.: Gidrometeoizdat, 2001. P. 107-109.
5. *Orekhov A.A., Dorofeev N.V.* Research of Ground Water Dynamics Influence on the Geodynamic Objects Control. *Algoritmy, metody i sistemy obrabotki dannyh*. № 3 (21), 2012, p. 47-53.
6. *Tsaplev A.V., Kuzichkin O.R.* Temperature Correction of Results of Geomonitoring Researches on the Basis of Parametrical Models. *Proektirovanie i tehnologija jelektronnyh sredstv*. 2007. №2. P.39-43.
7. *Tsaplev A.V., Kuzichkin O.R.* Algorithm of Parametrical Temperature Correction of Geoelectric Sounding Results. *Voprosy radiojelektroniki, ser. OT*, 2010, issue 1. P. 128-133.
8. *Tsaplev A.V., Kuzichkin O.R.* Application of Regression Processing for Temperature Interferences Compensation in Geoelectric Control Systems. *Radiopromyshlennost*. 2012. № 2. P. 147-153.
9. Phase Modulator Patent 56031 (Russian Federation) G 06 G 7/18. *O.R. Kuzichkin, M.N. Kuligin, A.V. Tsaplev* (Russian Federation). - 2006108218/22, appl. 15.03.06.; Publ. 8/27/2006. *Byul.* № 24.
10. *Orekhov A.A., Dorofeev N.V., Romanov R.V.* Technical Diagnostics in the Blocks of Transformer Sensors of Geodynamic Control Systems. *Mashinostroenie i bezopasnost zhiznedejatelnosti*, №2 (16), 2013, p. 29-32.

11. *Kuzichkin O.R., Kuligin M.N., Finogenov S.A.* Spectral Description of Elementary Geoelectric Models of Karst Heterogeneities. *Metody i ustrojstva peredachi i obrabotki informacii*. Vyp.4. SPb.: Gidrometeoizdat. 2004. P.137-141.
12. *Tsaplev A.V., Kuzichkin O.R.* Phase Control of Multipolar Electrolocational Installation in Geomonitoring Measurement Systems. *Metody i ustrojstva peredachi i obrabotki informacii*. Vyp.9. M.: Izd-vo Radiotekhnika, 2007.
13. The Device for Measurement of a Signal Parametres: Pat. 64384, Russian Federation: *Kuzichkin O.R., Tsaplev A.V.*: applicant and patent holder. - №2007107642/22: appl. 2/28/2007.
14. *Orekhov A.A., Dorofeyev N.V.* Geoelectric Modelling of Underground Bodies of Water. *Mashinostroenie i bezopasnost zhiznedejatelnosti*, №4, 2012, P. 16-19.
15. *Orekhov A.A., Dorofeyev N.V.* The System for Ecological Monitoring Bodies of Water on the Basis of Geoelectric Control Method. *Mashinostroenie i bezopasnost zhiznedejatelnosti*, №2, 2012.
16. *Zhdanov M.S.* Electric Prospecting: Textbook for Institutions of Higher Education. M.: Nedras, 1986. 316 pp.
17. *Dorofeyev N.V., Kuzichkin O.R.* The Problem of Structural Analysis of Irregular Geomagnetic Disturbance. *Modern Problems of Radio Electronics*. Issue. 2. Rostov-on-Don: Publishing House of RGPU, 2008. P. 54-58.
18. *Trelina E.V., Dorofeyev N.V.* Mathematical Model of the Local Description of Irregular Geomagnetic Disturbance in the Vicinity of Observation Point. *Metody i ustrojstva peredachi i obrabotki informacii*, 2012, Issue. 14, P. 71-73.
19. *Dorofeyev N.V., Kuzichkin O.R.* Algorithm of Acquisition of Irregular Geomagnetic Disturbance in the Monitoring. *Matematicheskoe i programmnoe obespechenie vychislitel'nyh sistem*. M.: Izd-vo «Gorjachaja linija Telekom», 2007. P. 28-32.
20. *Kuzichkin O.R., Blagov M.N.* Signal Detection of Irregular Disturbance on the Basis of Regression Analysis. *Radiotekhnika*, №6, 2006. P. 123-125.
21. *Dorofeyev N.V., Kuzichkin O.R.* Algorithm of Detection and Acquisition of Pi-2 Signals in Geodynamic Control Systems on the Basis of Wavelet Analysis. *Radiotekhnika*, №5, 2009. P. 49-54.