

Электромагнитное зондирование геодинамических объектов при учёте воздействия внешних природных помех

А.А. Орехов

Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимирская область, г. Муром, ул. Орловская, д. 23

В статье проанализированы процессы взаимодействия природно-технической системы, окружающей среды и системы геоэкологического мониторинга. Выявлены и описаны внешние природные помехообразующие факторы. Разработана и детально описана обобщённая структура организации электромагнитного контроля геодинамических объектов.

Interaction processes of natural-technical system, environment and geoecological monitoring system are analysed in this paper. External natural noise factors are revealed and described. The generalized organization structure of geodynamic objects electromagnetic monitoring is developed and in details described in this work.

Введение

В современном урбанизированном обществе, в условиях научно-технического прогресса, под расположение сложных высокотехнологичных промышленных объектов задействуются всё большие площади. Подобные объекты, расположенные в зонах естественных и искусственных неустойчивых геодинамических структур (оползни, осыпи, обвалы и зоны развития карста), являются потенциально опасными и могут привести к появлению аварийной либо катастрофической ситуации [1].

В связи с этим, в настоящее время большое внимание уделяется разработке и внедрению мониторинговых систем предупреждения катастроф на природных и техногенных объектах, вызванных неустойчивостью прилегающей геологической среды. Особое место среди них занимают автоматизированные системы мониторинга геологической среды, построенные на базе применения электромагнитных методов зондирования, обеспечивающих эффективную организацию наблюдений за геодинамическими объектами, оценку их состояния и прогноза развития. Однако, существующие системы электромагнитного геодинамического контроля не учитывают внешних помехообразующих факторов, оказывающих влияние на геологическую среду и аппаратуру системы при работе в долговременном круглосуточном режиме [3]. К таким факторам следует отнести, прежде всего, природные воздействия на геологическую среду.

Целью данной работы является исследование влияния внешних природных помехообразующих факторов на контролируемую геологическую среду и разработка структуры организации системы электромагнитного контроля, построенных на базе методом геоэлектрического зондирования, с учётом воздействия этих помех.

Воздействие внешних факторов на природно-техническую систему

Геологическая среда в инженерной геологии рассматривается как часть литосферы, взаимодействующая с различными народно-хозяйственными или инженерно-техническими сооружениями, созданными человеком. 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 мониторинговые системы геодинамических исследований. Они

позволяют проводить относительную оценку геомеханических изменений геодинамических объектов и проводить прогнозную оценку возможности техногенных катастроф на основе алгоритмов информационной обработки данных геодинамического контроля [2].

Определение геодинамических вариаций объекта исследования

Система геодинамического контроля, построенная на базе методов электромагнитного зондирования, представляется как радиотехническая система, где в качестве канала распространения выступает геологическая среда, модулирующая пропускаемый электромагнитный сигнал определённым образом, соответственно своим электромагнитным параметрам, которые определяются геодинамическим состоянием объекта.

Таким образом, регистрируемый электромагнитный отклик функционально связан со свойствами и структурой исследуемого геологического разреза и зависит от зондирующего сигнала с электромагнитных параметров среды.

$$Y(x, y, z, t) = F[X(x, y, z, t), \xi(x, y, z, t)]$$

где x, y, z - пространственные координаты; F - функциональный оператор, характеризующий передаточную функцию H геоэлектрического разреза. При этом входом геоэлектрического разреза можно считать пространственные координаты источника электромагнитного поля, а выходом – пространственные координаты датчика поля [6]. При проведении электромагнитного контроля изменение передаточной функции ΔH геоэлектрического разреза определяется геодинамическими вариациями объекта:

$$\Delta U(p) = \Delta H(p)I(p) \quad (1)$$

где $I, \Delta U$ – зондирующий сигнал и отклик соответственно. Данное выражение определяет один из основных аспектов организации электромагнитного контроля геодинамических объектов. Наиболее эффективным при проведении геодинамического контроля является применение низкочастотного диапазона электромагнитных волн [6].

Влияние внешних помехообразующих факторов

Как уже было отмечено, геомеханическое состояние и устойчивость конкретных грунтовых массивов определяется геодинамическим развитием пустотности и трещиноватости сред их слагаемых, что проявляется в вариациях электромагнитных параметров пород и характеризуется чувствительностью по отношению к внешнему электромагнитному полю [5]. Основными параметрами геологической среды, определяющими поведение в ней электромагнитного поля, являются удельное электрическое сопротивление ρ (удельная электропроводность σ) и диэлектрическая проницаемость ε . Электропроводность грунта определяется его влажностью, составом и концентрацией порового раствора. Помимо гидрогеологических условий на геологическую среду сильное влияние оказывают температурные факторы.

Зависимость проводимости геологической среды может в таком случае быть описана следующим линейным уравнением:

$$\sigma = \sigma_C + \sigma_R - (\alpha_C + \alpha_R)T - (\beta_C + \beta_R)W$$

где σ_C и σ_R – проводимости поровой структуры и порового наполнителя горной породы; α_C и α_R - параметрические температурные коэффициенты; β_C и β_R - параметрические коэффициенты влажности; T – температурные значения породы; W – значения влажности грунта.

В соответствии с уравнениями Максвелла для однородной проводящей среды связь напряженности электрического \vec{E} и магнитного поля \vec{H} с учетом температуры и влажности имеет следующий вид:

$$\operatorname{rot}\vec{H}(x, y, z, t) = j_{np}(x, y, z, t) + j_{cm}(x, y, z, t) = \sigma(T, W)\vec{E}(x, y, z, t) + \varepsilon(T, W)\frac{\partial\vec{E}(x, y, z, t)}{\partial t}.$$

Исходя из приведенных уравнений, можно записать операторное уравнение для плотности тока наведенного в среде с учетом влияния температуры и влажности:

$$\vec{j}(x, y, z, p) = (\sigma(T, W) + p\varepsilon(T, W))\vec{E}(x, y, z, p).$$

Данные рассуждения достаточно наглядно демонстрируют наличие температурных и гидрологических помех в регистрируемых электромагнитных сигналах при геодинамическом контроле. Эти помехи имеют схожую структуру с полезным геодинамическим сигналом (суточный период вариаций), и поэтому требуется организация температурного и гидрологического контроля (контроля уровня подземных вод) при проведении долговременного электромагнитного геодинамического контроля.

Обобщённая структура организации геодинамического контроля, построенная на базе методов электромагнитного зондирования

Исходя из вышеизложенных соображений, разработана обобщённая структура организации электромагнитного контроля природно-технических систем (рис. 1). В обобщённой структуре выделяются внешние воздействия, природно-техническая система и система геоэкологического мониторинга. Внешние воздействия по отношению к геодинамическому объекту бывают техногенными V , экзогенными P и климатическими. Экзогенные воздействия оказывают влияния на геодинамический объект S_p и гидрогеологические условия G_p , таким образом, $P = \{S_p, G_p\}$. Отдельно выделяются гидрогеологические условия $G = \{G_d, \xi_G\}$, оказывающие влияние на геодинамические S_G и электромагнитные E_G параметры геодинамического объекта $G_d = \{S_d, E_d\}$.

Техногенное воздействие V включает в себя геодеформационные процессы S_d и микросейсмическое воздействие ξ_m , формируемые посредством деятельности промышленного предприятия. Также сюда относятся промышленные отходы G_H , изменяющие гидрогеологические условия и химический состав геологической среды. Таким образом, $V = \{S_d, G_H, \xi_m\}$.

Гидрогеологические условия могут изменяться посредством организации предприятием водозаборов G_O . Таким образом, гидрогеологические условия среды определяются как $f_G : G_p \times G_O \times G_H \rightarrow G$, где $G = \{G_d, \xi_G\}$, а $G_d = \{S_d, E_d\}$.

Климатические воздействия ξ_T , изменяющие электромагнитные параметры геологической среды E_T , микросейсмические ξ_m и гидрогеологические воздействия ξ_G образуют группу помехообразующих факторов $\xi = \{\xi_G, \xi_T, \xi_m\}$.

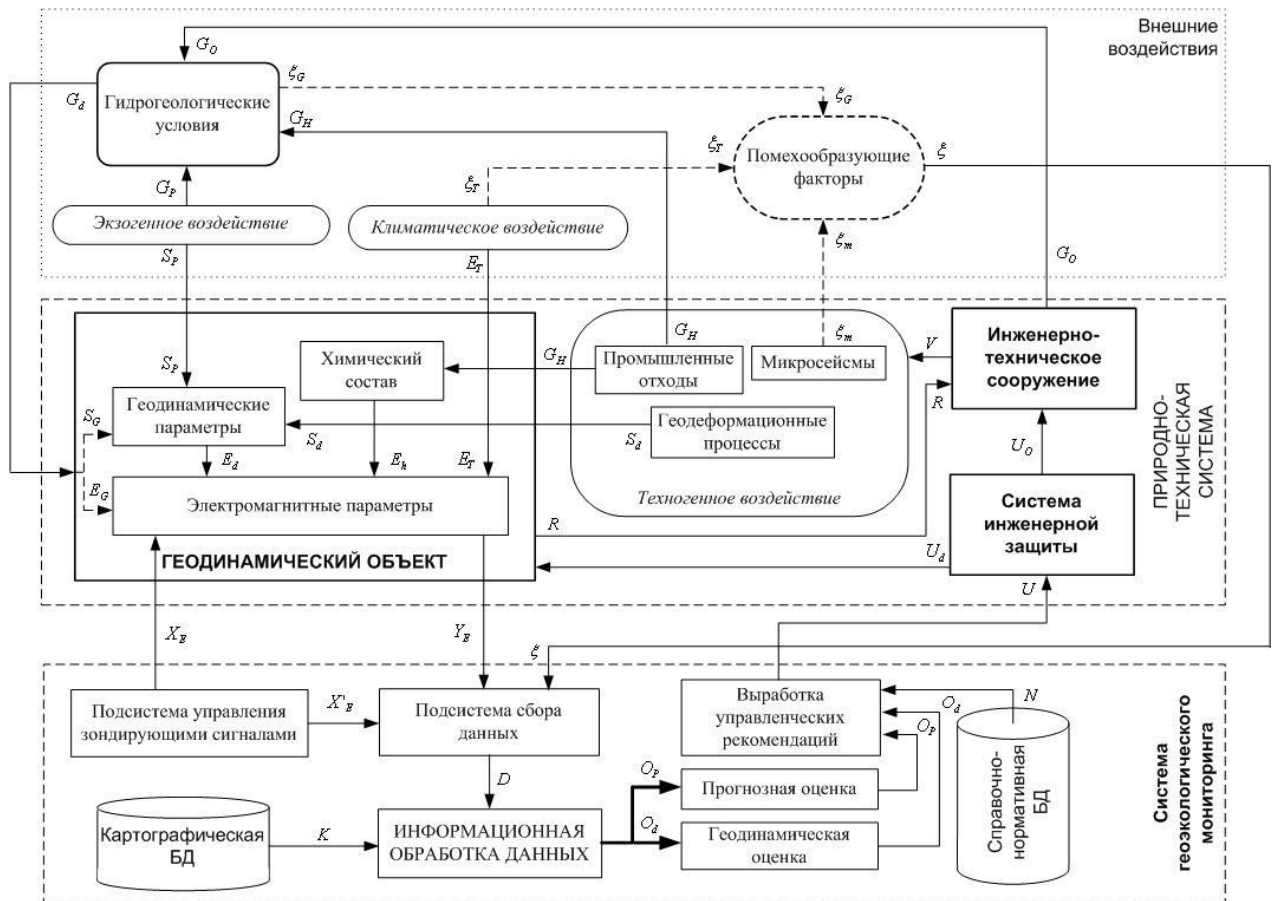


Рис. 1. Обобщённая структура организации электромагнитного контроля геодинамических объектов

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 S и электромагнитные E параметры, а также химический состав H геологической среды. На геодинамические параметры геологической среды оказывают воздействия геодеформационные процессы S_d , экзогенные факторы S_p и гидрогеологические условия S_G . В свою очередь геодинамические параметры определяют электромагнитные. Таким образом, $f_d : S_d \times S_G \times S_p \rightarrow E_d$. На химический состав геологической среды оказывают влияния промышленные отходы G_H , а химический состав, в свою очередь, влияет на электромагнитные параметры E_H . Электромагнитные параметры среды определяются как $f_E : E_d \times E_G \times E_H \times E_T \rightarrow E$. Геодинамический объект оказывает влияние R на инженерно-техническое сооружение, которое определяется описанными выше составляющими $f_R : S \times H \times E \rightarrow R$.

Система геоэкологического мониторинга, построенная на базе методов электромагнитного контроля, посредством подсистемы управления зондирующими сигналами оказывает воздействие X_E на электромагнитные параметры E геологической среды. Подсистема сбора данных считывает отклик Y_E параметров E геологической среды, а также помехообразующие факторы $\xi = \{\xi_G, \xi_T, \xi_m\}$ и

передает на обработку $D = \{Y_E, X'_E, \xi\}$, где $f_Y : X_E \times E \rightarrow Y_E$. После проведения обработки поступающей информации, с учетом картографических данных K , формируется геодинамическая оценка контролируемой зоны O_d и прогнозная оценка геодинамики среды O_p . Т.е., $f_O : D \times K \rightarrow O$, где $O = \{O_d, O_p\}$. Далее, на основе O и справочно-нормативных данных N в случае обнаружения потенциальной опасности, производится выработка управленческих рекомендаций U для сотрудников структуры инженерной защиты для принятия своевременных решений, препятствующих возникновению аварийной либо катастрофической ситуации. Управляющие воздействия оказываются как на геодинамический объект U_d , (укрепление грунта, например), так и на инженерно-техническое сооружение U_o , (вплоть до эвакуации людей и приостановке деятельности предприятия). Т.е., $f_U : O \times N \rightarrow U$, где $U = \{U_d, U_o\}$.

Заключение

В данной статье проведен анализ влияния внешних природных помехообразующих факторов на геологическую среду при проведении электромагнитного зондирования геодинамических объектов. Выявлено, что существенное влияние на проведение геодинамического контроля оказывают температурные и гидрологические условия.

Предложенная организационная структура позволяет построить эффективную систему электромагнитного зондирования геодинамических объектов на базе современных решений в области контроля природно-технических систем и обработки информации. Таким образом, при проведении электромагнитного контроля помимо отклика необходима совместная регистрация температур и уровня подземных вод, с использованием грунтового измерителя температур и скважинного уровнемера. Кроме того, в дальнейшем необходима разработка эффективных алгоритмов устранения влияния указанных помехообразующих факторов из временных рядов геодинамических наблюдений.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ МК-3485.2012.8

Литература

1. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. М. Гидрометеиздат. 1985, 560 с.
2. Камшилин А.Н., Кузичкин О.Р., Цаплев А.В. Исследование влияния климатических помех в многоканальных устройствах измерения параметров геоэлектрических сигналов // Радиотехника, 2008. – №9. – С. 129-133.
3. Королев В.А. Мониторинг геологической среды. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 272 с
4. Кузичкин О.Р. Орехов А.А. Оценка взаимного влияния при анализе сейсмoeлектрических сигналов. //Современные проблемы радиoeлектроники: Сборник научных трудов, Вып. 1. – Ростов-на-Дону: РАС ЮРГУЭС, 2007 – 448 с.
5. Кузичкин О.Р., Дорофеев Н.В., Орехов А.А. Первичная обработка сигналов в распределенных сетях регистрации геомагнитного поля. //Информационные системы и технологии. 2010. № 4. С. 119-122.
6. Кузичкин О.Р., Орехов А.А. Проектирование измерительного тракта системы геоэлектрического контроля. //Проектирование и технология электронных средств. 2011. №1. С. 25-30.