

Методы мониторинга окружающей среды

Использование сейсмоэлектрического эффекта в задачах контроля электропроводных объектов

В настоящее время, в связи с возрастающими требованиями к эксплуатационной защищенности объектов жилищно-коммунального хозяйства часто возникает необходимость раннего обнаружения предаварийных состояний. Особенно это актуально для крупных и протяженных объектов, у которых затруднен доступ ко всей поверхности. К таким объектам относятся подземные трубопроводы, строительные сооружения (несущие железобетонные конструкции, мосты, радио- и телевизионные башни и т.д.). В процессе эксплуатации данных объектов контроля вследствие различных причин происходят физический износ конструкций, снижение и потеря несущей способности сооружений, деформации как отдельных элементов, так и объекта в целом.

Целью работы является исследование возможности применения сейсмоэлектрического эффекта в задачах контроля электропроводных объектов.

Предположим, что контролируемый протяженный электропроводный объект можно представить в виде совокупности изотропных элементов среды, на который воздействует продольная мода плоской деформационной волны S_n . Исходя из этого получим комплексную форму записи модели характеризующей наличие токов смещения, и соответственно необходимости учета мнимой составляющей сопротивления среды при сейсмоэлектрическом контроле [1, 2]:

$$Z'_x = \frac{1}{1 + j\omega\rho\varepsilon} \rho \frac{l_x(1+u_x)}{S_{yz}} = \frac{\rho l_x}{S_{yz}(1 + j\omega\rho\varepsilon)} \cdot (1+u_x),$$

где u_x - элемент тензора деформации по орту \vec{x} , l_x – размер элемента среды, ρ , ε электрические параметры среды.

Комплексное сопротивление элемента среды под действием продольного упругого деформационного воздействия изменяется по модули пропорционально тензору смещения.

Проведено моделирование воздействия упругой волны на металлический стержень длиной 3 м и диаметром 0,01 м. Стержень в середине имеет дефект – уменьшение диаметра стержня до 0,005 м (рис. 1).

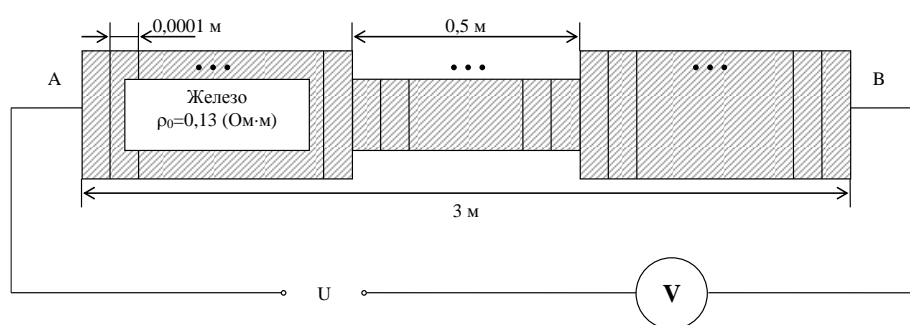


Рис. 1. Модель металлического стержня с дефектом

На стержень осуществлялось воздействие упругой волны и исследовалось изменение сопротивления стержня во время прохождения упругой волны по стержню. Результаты моделирования представлены на рис. 2.

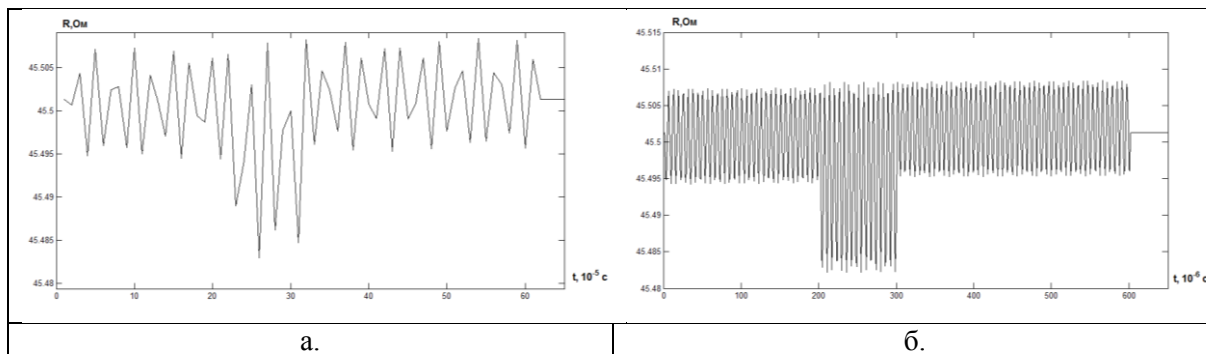


Рис. 2. Изменение сопротивления металлического стержня во время прохождения упругой волны при частоте регистрации: а) 100 кГц, б) 1 мГц

Результаты моделирования показали, что сейсмоэлектрический эффект может быть применен для контроля протяженных электропроводных объектов, таких как стальные трубы, рельсы, железобетонные перекрытия и т.п. Причем важное значение имеет то, какие характеристики имеет упругая волна, воздействующая на контролируемый объект. В контролируемые параметры добавляется дополнительная информация о структуре среды. Следовательно, структурные изменения в контролируемой среде могут быть обнаружены сейсмоэлектрическими методами ранее, чем возникнет необратимое разрушение объекта.

Использование комплекса сейсмоакустических, электрических и сейсмоэлектрических методов позволит повысить надежность прогнозных оценок и обеспечить выделение предкризисных ситуаций, и, соответственно, снизить уровень риска возникновения техногенных аварий и катастроф.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 13-05-97506 р_центр_а).

Литература

1. Кузичкин О.Р., Быков А.А., Кутузов А.С. Комплексирование сейсмических и геоэлектрических методов при геодинамическом контроле // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2012. №14. С. 45-48.
2. Быков А.А., Кузичкин О.Р. Применение сейсмоэлектрического метода при геодинамическом контроле в природно-технических системах // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2013. №2. С. 22-28.

Классификация данных в ГИАС геодинамического мониторинга

При построении систем геоэкологического мониторинга на региональном и глобальном уровне появляется ряд проблем связанных с комплексированием разнородных данных от автономных измерительных комплексов, хранением, передачей и представлением обрабатываемых данных. Частично указанные проблемы позволяет решить сервис-ориентированный подход и аппаратно-программная реализация архитектуры ГИАС (географических информационно-аналитических систем) описанные в работах [1-3]. В связи с этим, при организации сервис-ориентированной архитектуры следует определить данные, которые будут храниться на измерительных комплексах, а которые на региональных серверах данных.

Для получения прогнозных оценок система геодинамического мониторинга использует электромагнитные свойства анализируемой среды. В случае использования многополюсной электролокационной установки наблюдаемым параметром является кажущееся сопротивление R_k . Для корректировки получаемой модели геологического разреза используют данные бурения и дополнительные сведения о состоянии почвы.

Данные бурения в разрабатываемой системе ГИАС будут использоваться при построении геологического разреза методом аппроксимации. Скважина должна иметь следующие атрибуты: координаты, способ проходки, установка, глубина, установившийся уровень воды, дата проходки. Каждая скважина кроме сведений о её координатах и геометрических параметров должна содержать сведения об отобранных образцах пород. Поэтому, геолого-литологическое описание скважины должно включать горизонтально-слоистый набор пород со следующими атрибутами: номер слоя, глубина залегания, мощность слоя, отметка подошвы слоя, тип и описание породы, деформационные (модуль Юнга и коэффициент Пуассона) и прочностные свойства (прочность на растяжение и сжатие, сцепление, угол внутреннего трения).

Таким образом, для системы прогнозирования необходимы следующие данные: геологические, гидрологические, электроразведочные, метеорологические. В дополнении к этому при моделировании и прогнозировании поведения грунта под воздействием техногенной нагрузки целесообразно включить в систему ГИАС данные об имеющихся сооружениях [4].

Предлагаемое разбиение информативных данных в ГИАС на слои учитывает специфику систем геоэкологического мониторинга, геологических ГИС, результатов работы электроразведочной аппаратуры и проводимых геоморфологических анализов исследуемых территорий. Так же следует отметить, что уже имеющаяся информация о геологическом строении территории, полученная при инженерно-геологических изысканиях, не теряется, а наоборот дополняет базу данных ГИАС мониторинга, повышая тем самым достоверность получаемых прогнозных оценок.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-08-31570-мол_a

Литература

1. Дорофеев Н.В., Орехов А.А. Организация географической информационно-аналитической системы геоэкологического мониторинга / Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2012. №2. С. 53-56;
2. Дорофеев Н.В., Орехов А.А., Романов Р.В. Автоматизированный глобальный геоэкологический мониторинг на базе ГИАС / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2012. № 2. С. 26-29;
3. Дорофеев Н.В., Орехов А.А., Романов Р.В. Организация регионального сбора данных в географической информационно-аналитической системе геоэкологического мониторинга / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2012. № 2. С. 30-32;
4. Соколова И.А. Методика структурирования данных для информационного моделирования геологической среды / Геопрофи, 2007, № 6, С. 14-18.

ГИАС распределенного геодинамического мониторинга

В настоящее время интенсивное развитие функциональных возможностей географических информационно-аналитических систем (ГИАС) и подходов к обработке пространственных данных позволяет применять ГИАС в различных сферах деятельности человека [1]. Особое развитие ГИАС получили в геологии, геофизике и системах прогнозирования геодинамики при проектировании региональных и глобальных систем мониторинга.

Для реализации распределенной системы геодинамического мониторинга на базе многополюсной электролокационной установки с применением сервис-ориентированного подхода возникает необходимость составления математической модели ГИС. Для определения слоев карты, перечня пространственных объектов и их атрибутов бала проанализирована обобщенная информационная структура системы электромагнитного геоэкологического мониторинга, представленная на рисунке 1 [2].

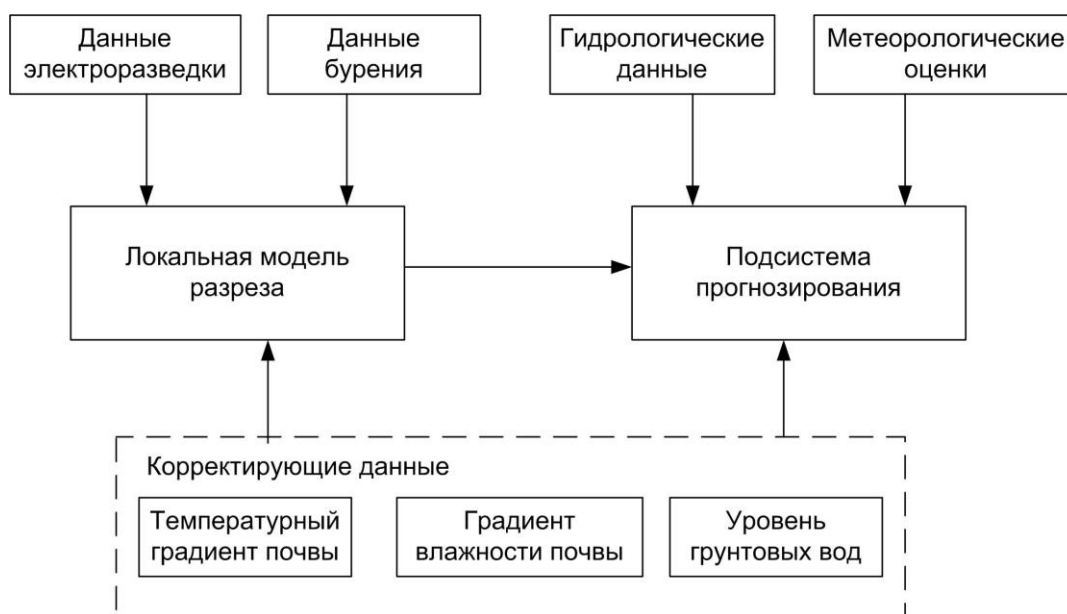


Рис. 1. Обобщенная информационная структура системы электромагнитного геоэкологического мониторинга

Как видно из рисунка дополнительными сведениями для построения модели разреза и получения прогнозных оценок развития геодинамики геологической среды служат: температурный градиент почвы, градиент влажности почвы. Данные параметры почвы измеряются точно как по площади, так и по глубине. Для приближения математической модели геологической среды к реальной и повышению точности прогнозных оценок необходимо учитывать температурную и гидрологическую помеху [2 - 4], поэтому очень важно учитывать данные гидрологии (уровень грунтовых вод, водные объекты) и метеорологические данные (температура, осадки).

Было установлено, что для проведения карстологического анализа территории необходимы сведения о замкнутых понижениях земной поверхности (результатах развития карста). Каждый такой объект должен содержать следующие атрибуты: номер точки, абсолютная отметка бровки, вид, генезис, возраст, форма и азимут длинной оси, размер, глубина, крутизна бортов, характер бровки, характер дна, характер растительности, степень задернованности, наличие и количественные характеристики водопоглощающих поноров, наличие источников и зон разгрузки подземных вод, характеристика опорной точки контура, координаты опорной точки контура.

Литература

1. Андрианов Д.Е. Обработка информации о пространственно распределенных объектах // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2007. №8 – С. 170 - 174;
2. Орехов А.А., Дорофеев Н.В. Структура обработки информации в системах электромагнитного геоэкологического мониторинга геодинамических объектов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных: Электронный научный журнал. – Вып. 2(20). - Муром: Муромский институт (филиал) ВлГУ, 2012 С. 69 – 76;
3. Орехов А.А., Дорофеев Н.В. Алгоритм коррекции влияния гидрологической помехи на контроль геодинамических объектов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных: Электронный научный журнал. – Вып. 4 (22). - Муром: Муромский институт (филиал) ВлГУ, 2012 С. 74 – 78;
4. Орехов А.А., Дорофеев Н.В. Исследование влияния режима подземных вод на контроль геодинамических объектов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных: Электронный научный журнал. – Вып. 3 (21). - Муром: Муромский институт (филиал) ВлГУ, 2012 С. 46 – 52.

Получение прогнозной функции изменения геологической среды

В процессе расширения техногенной среды происходит освоение и застройка новых территорий. При этом, инженерно-технические объекты могут оказываться на территориях с нестабильной геологической структурой. Хотя в настоящее время перед началом строительства, в соответствии с нормативно-правовыми документами, для оценки застраиваемой территории проводят инженерно-изыскательные работы и в случаях необходимости расположения инженерно-технических сооружений на территориях с нестабильной геологической структурой проводят комплекс мер, направленных на защиту возводимых объектов от динамики геологической среды, полностью избавиться от последствий развития геологических процессов в приповерхностном слое не удается.

Таким образом, актуальной является задача разработки систем прогнозирования геодинамических процессов и оценки распределения сил в системах «грунт-строение-грунт» и «строение-грунт-строение» с применением комплексной обработки распределенных (как в пространстве, так и во времени) данных и многофакторного анализа.

Для получения прогнозной функции образования провалов необходима модель процессов карстообразования и модель обрушения свода пород. Поскольку процессы карстообразования являются недетерминированными, то для их прогнозирования можно использовать статистические методы. Интенсивность провалообразования в данном случае можно определить как [2]:

$$I = \frac{N}{S \cdot Y}, \quad (1)$$

где N – количество провалов;

S – площадь на которой определялось количество провалов;

Y – количество лет в течение которых фиксировались провалы.

Так же, в работах Фикселя и Стояна [2], предлагается использовать не только данные об интенсивности провалов, но и ориентации провалов и их густоты. При этом наблюдая за густотой провалов можно определить направление их дальнейшего образования.

Важную роль в прогнозе образования карстовых провалов играет оценка карстоопасности местности. Данные оценки даются для отнесения конкретной местности к той или иной категории карстоопасности [1] и в дальнейшем играют значительную роль в получении прогнозной оценки изменения геологической среды. На данный момент для определения карстоопасности местности имеются карты карстовой опасности. Однако, подобные карты составлялись несколько десятков лет назад и не могут отразить степень карстовой опасности на площади менее 2 км² (на локальных участках) и не способны отражать геодинамику. Для получения прогнозных оценок изменения геологического разреза в автоматизированном режиме и в режиме реального (квазиреального) времени необходимо наблюдать за такими параметрами, как влажность и температура грунта. Кроме того, для получения более детальной модели приповерхностных процессов необходимо привлекать дополнительные данные.

Следует отметить об обратной зависимости температуры грунта от его влажности при этом, значение температуры на глубине z через время t можно получить как:

$$X_7^j(z) = X_9^{\max}(x, y) \exp\left(\frac{X_1^i(d) - z}{\alpha}\right) \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \frac{\sqrt{\pi T}(X_1^i(d) - z)}{\sqrt{\alpha}} + X_9^{\phi}(x, y)\right), \quad (2)$$

где $X_9^{\max}(x, y)$ - значение амплитуды колебаний суточной (сезонной, многолетней) температуры в точке с координатами x, y ;

T – период колебания температуры (суточный, сезонный, многолетний);

α - приведенный коэффициент теплопроводности [3];

$X_9^{\varphi}(x, y)$ - фазовый момент для суточных (сезонных, многолетних) колебаний, соответствующий температуре в настоящий момент времени;

$X_1^i(d)$ - глубина сезонного оттаивания.

Получаемые прогнозные оценки, можно привязать к необходимому порогу срабатывания:

$$f(k) = \sum_i \left(\theta \left(\frac{|f(k-1) - f(i)|}{\Delta_A} - 1 \right) \cdot f(i) \right), \quad (3)$$

где $f(k)$ – текущая оценка;

θ - функция Хэвисайда;

$f(k-1)$ – предыдущая оценка;

$f(i)$ – i -я оценка в диапазоне Δ на k -м шаге;

Δ_A – порог срабатывания.

Очевидно, что для повышения достоверности прогнозных оценок необходимо учитывать изменения параметров геологического разреза и влияющих на него факторов не только в локальной точке, но и на большой площади.

Таким образом, приведённые в данной статье положения могут быть использованы для построения региональных систем геодинамического контроля, построенных на базе распределённых мониторинговых систем с привязкой к гидрологическим, метеорологическим и административно-хозяйственным данным. Развитие подобного рода систем, позволит заблаговременно выявлять геодинамику и предупреждать аварийные ситуации.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-08-31570-мол_a

Литература

1. Aderhold G. Klassifikation von erdfallen und senkungsmulden in karstgefährdeten gebieten Hessens. Empfehlungen zur Abschätzung des geotechnischen Risikos bei Baumassnahmen // HLUG – Hessesches Landesamt für Umwelt und Geologie. Geologische Abhandlungen Hessen, Band 115 Wiesbaden 2015;
2. Fiksel T., Stoyan D. Mathematisch-statistische Bestimmung von Gefährdungsgebieten bei Erdfallprozessen // Z.f. angew. Geologie, 1983, 9: 455 – 459;
3. Кузичкин О.Р. Алгоритм формирования прогнозных геодинамических оценок при геоэлектрическом мониторинге суффозионных процессов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. №5. С. 50-53.

Получение прогнозных оценок изменения геологической среды при комплексной обработке распределенных данных

В настоящее время все случаи разрушения административно-хозяйственных объектов и коммуникаций, являющиеся следствием проявления приповерхностных геодинамических процессов, доказывают несовершенство применяемых инженерно-технических средств. Как правило, имеющиеся системы контроля и мониторинга по своей сути фиксируют не начало развития неблагоприятных геодинамических процессов, а начало деструктивных процессов в самом сооружении и не способны заблаговременно спрогнозировать изменение геологического разреза. Очевидно, что недостатком таких систем является низкая проработанность математических моделей геологической среды и охват далеко не всех факторов участвующих в изменении геологического слоя.

Целью работы является получение прогнозной функции, которая позволила бы оценить изменения геологической среды.

Поскольку разместить в каждом месте мониторинговые системы достаточно проблематично и экономически не целесообразно, то необходимо привлекать методы компьютерного и математического моделирования геологических сред, статистические методы анализа и обработки. При этом предлагается во время обработки разнородных пространственных данных акцентировать внимание на аномальных отклонениях параметров геологической среды (плавных и частых изменениях прогнозирующей функции в локальной точке). В этом случае для каждой области геологической среды (размер области определяется в зависимости от требуемой точности обнаружения приповерхностных неоднородностей) создается матрица $M \times N \times L$, где M – долгота, N – широта, L – глубина. Поскольку на изменение геологической среды влияет множество параметров, то следует вводить поправочные коэффициенты, которые учитывают внешние дестабилизирующие факторы [1].

Для локации приповерхностных неоднородностей в исходной трехмерной матрице $A \{N;M;L\}$ проводится линейная и нелинейная обработка с целью выделения резких перепадов в трехмерной картине распределения прогнозных оценок изменения геологической среды. В результате получается трехмерная матрица $A' \{N;M;L\}$ значение элементов которой отлично от нуля только в областях резких изменений. После этого проводится пороговая обработка для выделения границ объекта.

В качестве предварительной обработки для подобного класса задач предлагается применить метод выделения перепадов с согласованием, который в отличие от подобных методов выделения перепадов скользящим окном имеет высокую помехоустойчивость. Суть метода заключается в том, что перед применением дифференциального оператора согласовать со значениями в рассматриваемом окне некоторую поверхность первого или второго порядка. Очевидно, что для локации приповерхностных неоднородностей, свободно располагающихся в рассматриваемом пространстве, можно воспользоваться вычислением модуля градиента распределения фаз в матрице A :

$$|\nabla A\{x_1, x_2, x_3\}| = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}, \quad (1)$$

где x_1, x_2, x_3 – координаты обрабатываемого элемента матрицы A ;
 a, b, c – дискретные разности элементов матрицы, вычисляемые по выражениям (2-4).

$$a = A\{x_1, x_2, x_3\} - A\{x_1 - 1, x_2, x_3\}; \quad (2)$$

$$b = A\{x_1, x_2, x_3\} - A\{x_1, x_2 - 1, x_3\}; \quad (3)$$

$$c = A\{x_1, x_2, x_3\} - A\{x_1, x_2, x_3 - 1\}. \quad (4)$$

Для снижения вероятности ложного обнаружения приповерхностных неоднородностей необходимо проводить дополнительную обработку выявленных аномалий в геологической среде. Так например, можно проводить поиск формы обнаруженной аномалии в базе геоэлектрических моделей, тогда в структуру приведенную на рисунке 3 следует ввести базу данных аномальных сигналов. Пополняя такую базу данных шаблонами аномальных сигналов, в последствии можно ускорить процесс поиска и отбора участков геологической среды с развивающимися процессами карстообразования.

Данный способ позволит получать прогнозные оценки изменения геологического разреза при комплексной обработке распределенных данных, учитывая воздействие на результаты прогноза температурной и гидрологической помех, а так же данные о категории карстоопасности, нагрузки на грунт и оперативные данные от электроразведочных комплексов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-08-31570-мол_a

Литература

1. Кузичкин О.Р., Дорофеев Н.В. Анализ алгоритмических ошибок и погрешностей при регрессионной обработке геомагнитных измерений // Метрология, 2007. - № 11. – с. 50-56.
2. Reuter F., Tolmacev V. Bauen und Bergbau in Senkungs – und Senkungsgebieten // Eine Ingenieurgeologie des Karstes: 176 S., Berlin, 1990;
3. Aderhold G. Klassifikation von erdfallen und senkungsmulden in karstgefährdeten gebieten hessens. Empfehlungen zur Abschätzung des geotechnischen Risikos bei Baumassnahmen // HLUg – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Geologische Abhandlungen Hessen, Band 115 Wiesbaden 2015;
4. Fiksel T., Stoyan D. Mathematisch-statistische Bestimmung von Gefährdungsgebieten bei Erdfallprozessen // Z.f. angew. Geologie, 1983, 9: 455 – 459.

Д.С. Ожигин
Карагандинский государственный технический университет (КарГТУ)
Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56;
E-mail: kargtu@kstu.kz

М.В. Шпакова, А.Н. Хозяинов
Сибирский Федеральный университета. Институт горного дела геологии и геотехнологий
660025, г. Красноярск, пр. Вузовский, 3, ауд. 415 у.к.
E-mail: JJunakov@sfu-kras.ru

Инструментальные наблюдения за состоянием устойчивости карьерных и отвальных откосов

Организация маркшейдерских инструментальных наблюдений за состоянием карьерных откосов включает в себя:

- создание сети наблюдательных станций; выбор средств и методики высокоточных измерений; математическую обработку результатов наблюдений; анализ и прогноз состояния устойчивости карьерных откосов.

Целью маркшейдерских инструментальных наблюдений является своевременное обнаружение деформаций бортов карьеров для оперативной оценки степени опасности этих деформаций и принятия мер, опережающих их развитие.

Определение мест заложения наблюдательных станций основывается на анализе геомеханической обстановки и, в первую очередь, выбирается на наименее устойчивых участках разреза. На октябрь 2013 года на разрезах АО «Шубарколь комир» создана система геомеханического мониторинга состояния прибортовых и отвальных массивов разрезов, состоящая из сети наблюдательных станций: 6 наблюдательных станций, включающих 11 профильных линий.

Наблюдательные станции RL 7, RL9 и RL15 были заложены в 2013 году на внутреннем отвале центрального разреза «Шубарколь комир». Наблюдательная станция VIII, находящаяся на рабочем борту Западного разреза в 2013 года реконструирована путем переноса рабочих и опорных реперов. Наблюдательная станция ZOT была заложена в июле 2013 на внутреннем отвале Западного разреза.

Наблюдательная станция I заложена в декабре 2000 г. в районе р.л. 9⁴ для производства инструментальных наблюдений за состоянием устойчивости западного крыла северного борта Центрального разреза (рис..1).



Рис.1. Район наблюдательной станции I

Наблюдательная станция состоит из двух профильных линий, каждая из которых представлена четырьмя рабочими реперами (рис..2).

Наблюдательная станция RL7 заложена в июле 2013 года на внутреннем отвале Центрального разреза, предназначенная для определения величины деформаций западного крыла (рисунки 3.3, 3.4), состоящей из двух профильных линий RL7-A и RL7-B. Наблюдательная станция RL 7 включает в себя 2 опорных и 18 рабочих реперов (рисунок 3.5) В сентябре 2013 года в ходе горных работ связанных с мероприятиями по ликвидации оползня станция была уничтожена. В октябре 2013 года наблюдательная станция RL7 реконструирована



Рис. 2. Район деформаций на выходах пласта гор +450м.- +425м.



Рис.3.Места закладки профильных линий

На разрезах Центральный и Западный АО «Шубарколь комир» согласно календарному плану проведения научных исследований в 2013 годах по наблюдательным станциям I, RL-7, RL-9, RL-15,VIII, ZOT выполнено две серии высокоточных инструментальных наблюдений: первая – 03.07.2013г., вторая 03.10.2013г.

Вторая серия высокоточных инструментальных наблюдений была произведена в октябре 2013 года по наблюдательным станциям I, RL-15,VIII, ZOT. По наблюдательным станциям RL-7, RL-9 вторая серия высокоточных инструментальных наблюдений была произведена в сентябре 2013 года (из за ведения горных работ). Несмотря на то, что, в целом, уступы и борта разрезов «Центральный» и «Западный» и ярусы отвалов находятся в устойчивом состоянии на откосах имеются локальные деформации виде трещин, заколов, вывалов, обрущений, осадок пород и осыпей.

Методика инструментальных наблюдений за состоянием устойчивости карьерных и отвальных откосов

Современные способы наблюдений за геомеханическим состоянием откосов уступов и бортов карьеров весьма разнообразны. Наиболее перспективными из них являются способы с использованием современного электронного оборудования, основанные на определении отклонения координат рабочих реперов наблюдательных станций от их начального положения.

Маркшейдерско-геодезический контроль за состоянием бортов разреза и отвалов выполняется путем создания системы наблюдательных станций в виде профильных линий реперов, закладываемых на прибортовой полосе, на бермах уступов или на отвалах, перпендикулярно верхней бровке разреза (откосу яруса отвала) и производства высокоточных инструментальных наблюдений по ним. Система наблюдательных станций включает в себя исходные реперы и профильные линии, состоящие из опорных, связующих и рабочих реперов. На разрезах АО «Шубарколь комир» производство инструментального контроля состояния устойчивости карьерных откосов выполняется по заложенным реперам наблюдательных станций созданной системы мониторинга с использованием современного электронного геодезического оборудования – автоматизированного электронного тахеометра Leica TCA 1202 (рис.1).



Рис.1. Электронный тахеометр Leica TCA 1202



Рис.2. Отражатель на жестком отвесе

Систематические инструментальные наблюдения на станциях в системе геомониторинга заключаются в определении с помощью электронного тахеометра Leica TCA 1202 положения рабочих реперов в пространстве на данный момент времени с фиксированием горно-геологических факторов. Для каждой из созданной на разрезах АО «Шубарколь комир» наблюдательных станций определены схемы привязки и ориентирования опорных и связующих реперов профильных линий, позволяющие, при производстве систематических инструментальных наблюдений, быстро и безошибочно находить исходные пункты и придерживаться единой системы ориентирования в разных сериях наблюдений. Инструментальные маркшейдерско-геодезические наблюдения за смещениями и деформациями реперов наблюдательных станций выполняются не реже 2^х раз в год. Полная серия инструментальных наблюдений включает в себя следующие работы: привязку исходных и опорных реперов станций (определение координат X, Y, Z) к ближайшим пунктам маркшейдерской опорной геодезической сети; производство начальных наблюдений для определения исходного положения реперов наблюдательных станций в горизонтальной и в вертикальной плоскостях;

производство систематических наблюдений за положением реперов для определения их сдвижения или смещения. Привязка исходных и опорных реперов профильных линий к пунктам опорной сети и определение их координат (X, Y, Z) в единой системе выполняется автоматически с помощью электронного тахеометра Leica TCA1202. При этом электронный тахеометр Leica TCA1202 устанавливается на исходный (опорный) репер наблюдательной станции и ориентируется на 1-2 пункта опорной сети. Все измерения электронным тахеометром Leica TCA 1202, для повышения точности и исключения грубых ошибок, выполняются при двух положениях вертикального круга 6 приемами. Прием измерения включает одно наведение на отражатель, при котором производится несколько измерений (2-3). За окончательный результат принимается среднее значение измерений, при этом разница между отдельными отсчетами не должна превышать ± 2 мм. Положение связующих реперов станций определяется автоматически с помощью электронного тахеометра Leica TCA 1202 от исходных (опорных) реперов, созданной системы или от опорной сети. Начальные наблюдения на станции состоят из двух независимых серий измерений с интервалом 3-5 дней.

С помощью электронного тахеометра Leica TCA 1202 могут быть определены все необходимые данные: расстояния между реперами, превышения и координаты реперов наблюдательных станций. Применение электронного тахеометра Leica TCA 1202 значительно сокращает время на производство полевых работ.

Так как при инструментальных наблюдениях конечные результаты несут в себе ряд случайных и систематических ошибок, то для исключения или уменьшения их, предлагается методика наблюдений, состоящая из ряда последовательно выполняемых работ и соблюдения определенных условий: закрепление отражателей в соответствии с рис.2. на жестких отвесах, которые устанавливаются и центрируются над реперами по створу профильной линии; максимальное удаление рабочих реперов от опорных или связующих реперов должно быть не более 500 м; обязательное измерение атмосферного давления с точностью до 1 мм рт. ст. и температуры воздуха с точностью до 1° C; систематический контроль положения опорных и связующих реперов в каждой серии наблюдений; при разделении профильной линии связующими реперами на секции, съемка крайних рабочих реперов секций выполняется с обязательным контролем и уравниванием с последующего связующего репера.

Формирование базы данных измерений в электронном виде существенно сокращает камеральную обработку результатов измерений

Тахеометр автомат имеет электронный компенсатор, позволяющий значительно повысить точность горизонтирования прибора. С помощью электронного тахеометра Leica TCA 1202 определяются координаты начального положения реперов профильных линий, координаты тех же реперов при последующих наблюдениях, горизонтальные проложения и превышения между реперами и их смещения. По разнице координат реперов ΔX , ΔY , ΔZ относительно их исходного положения можно определить направление в пространстве вектора смещения в цифровом виде, а также по разнице горизонтальных проложений ΔS между реперами относительно исходных значений можно судить об устойчивости (сдвижении) приборного массива.

При использовании электронного тахеометра Leica TCA 1202 обработка результатов инструментальных измерений производится автоматически. Следует отметить, что обработка инструментальных наблюдений с расчетом параметров сдвижений и деформаций возможна только в случае обнаружения смещений превышающих инструментальную точность.

Поэтому при получении значений смещений в пределах инструментальной точности удобно определять отклонения в горизонтальной и вертикальной плоскости через координаты реперов между начальными и последующими измерениями ΔX , ΔY , ΔZ . По результатам обработки двух серий инструментальных наблюдений составляются таблицы, в которых показываются изменения высотных отметок реперов профильных линий, а так же изменения длины интервалов между реперами и суммарной длины интервалов от опорного репера до рабочего. При активной стадии деформаций использование предлагаемой методики позволяет оперативно (в течение одного дня) получить полную картину смещений и своевременно разработать мероприятия по обеспечению устойчивости.

Автоматизированный контроль верхнего водоносного горизонта в системах нецентрализованного водоснабжения

На территории нашей страны существуют различные региональные системы геоэкологического мониторинга, которые осуществляют регулярные наблюдения за недрами и процессами в них происходящими. Подобные системы как правило состоят из наблюдательной сети скважин, расположенных на контролируемой территории которые, достаточно полно отражают динамические и гидрохимические региональные особенности режима подземных вод[1]. Однако недостатками таких систем является то, что контроль качества воды осуществляется только в централизованной системе водоснабжения, отбор воды берется из точечных источников (скважин), и не производится контроль воды нецентрализованных источников. В таких системах зачастую, информация собирается наблюдателями вручную механическим способом, для дальнейшего анализа в лаборатории. При этом не используются данные общей карты потенциально негативно влияющих на состав и качество воды промышленных производственно-технических объектов, сельскохозяйственных угодий и т.п., отсутствует гибкость, переносимость и масштабируемость систем.

Поэтому предлагается организация постоянного автоматизированного мониторинга поверхностных и подземных вод в нецентрализованных системах водоснабжения стационарной локальной сетью наблюдений с картографической привязкой к местности. Локальная сеть системы геоэкологического мониторинга является важным источником экспериментального материала, накопление и анализ которого дает новые возможности в решении задач охраны здоровья населения. В системе геоэкологического мониторинга применяются методы геофизической электроразведки, заключающиеся в исследовании особенностей распространения постоянных и переменных электромагнитных полей в приповерхностном слое земли и определении по измеренным полям электромагнитных параметров среды[2,3]. Исследуемой средой в данном случае является первый водоносный слой, а исследуемым параметром – его электропроводность. Также наблюдения производятся в уже существующих водозаборных сооружениях (скважины, колодцы, каптажи). Такой подход позволяет выполнять практически в режиме реального времени эффективный контроль режима поверхностных и подземных вод каждой конкретной площадки, где осуществляется нецентрализованное водоснабжение в увязке с данными централизованной региональной государственной сети наблюдений водных ресурсов[4].

Сложное и разнообразное поведение гидросферы приводит к необходимости расширения количества контролируемых параметров подземного водоносного слоя при электромагнитном мониторинге, что значительно увеличивает поток измерительной информации. При этом одной из основных проблем проведения автоматизированных гидрогеологических исследований состоит, в том что, при решении задач контроля геологической среды необходимо существенно уменьшать время обработки информации для формирования оперативной реакции на критичные изменения объекта исследования. Улучшение качественных показателей, сокращение времени исследований и соответственно повышение эффективности проведения контроля подземных вод является основной целью разработки и применения автоматизированных систем геоэкологического мониторинга.

При геоэкологическом контроле нецентрализованных систем водоснабжения необходимо установить соответствия между состоянием и свойствами исследуемого объекта и заданной моделью. Модель объекта определяет допустимую область динамических параметров, при которых можно считать функционирование системы нормальным. Следовательно, эту допустимую область параметров в пространстве состояния объекта можно считать нормой. Результатом обработки данных контроля является заключение о нахождении объекта в норме или вне нормы, с одновременной оценкой достоверности полученного результата.

Литература

1. Кузичкин О.Р., Дорофеев Н.В., Цаплев А.В., Кулигин М.Н., Холкина Н.Е. Методы и средства автоматизированного геодинамического контроля и геоэкологического мониторинга. // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, № 1 2014. С. 63-71.
2. Орехов А.А., Дорофеев Н.В. Система для экологического мониторинга водных объектов на базе метода геоэлектрического контроля. // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, №2, 2012 – С. 36-38.
3. Дорофеев Н.В., Орехов А.А., Романов Р.В. Автоматизированный глобальный геоэкологический мониторинг на базе ГИАС // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, №2, 2012.
4. Романов Р.В., Кузичкин О.Р. Использование геоэлектрических методов зондирования для геоэкологического контроля воды в нецентрализованных системах водоснабжения локального уровня // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, №3, 2014. С. 35-38.

Построение информационной системы для геодинамического прогнозирования

В связи с возросшей необходимостью пространственных данных для контроля и мониторинга геодинамических объектов и представления общего состояния геоэкологической среды, все чаще используются географические информационные системы (ГИС). Они, как правило, используются во взаимосвязи с другими информационными системами, являясь для них источниками пространственных данных, и сами используют данные этих систем как атрибутивную информацию. ГИС позволяет повысить эффективность принятия управленческих решений за счет своевременного предоставления необходимой информации в удобном для восприятия пользователей виде[1].

В настоящее время принято различать ГИС национального уровня и локального уровня (отдельно взятый регион или предприятие) [2]. Локальные ГИС еще принято называть корпоративными ГИС.

Локальная ГИС - это комплексная система с согласованным доступом к визуальным пространственным данным и связанной с ними информацией. Локальная ГИС предоставляет возможность работы с пространственными данными в многопользовательской среде, независимо от того, сколько пользователей работает в ГИС и как далеко они расположены друг от друга, какое программное обеспечение используют, – корпоративная ГИС позволяет одновременно редактировать, просматривать и анализировать пространственную информацию, размещенную в единой системе пространственных баз данных.

Основной целью локальных ГИС является многопользовательское создание новых и обработка существующих наборов данных и обмен этими данными между территориально распределенными пользователями в рамках всей компании, а также интеграция пространственных данных с атрибутивными данными других корпоративных систем компании [2,3].

При создании локальной ГИС для геодинамического мониторинга формируются основные требования и задачи к системе [4]. Она должна быть:

- масштабируемой, легко расширяемой;
- надежной и безопасной;
- поддерживать межплатформенное взаимодействие;
- интегрируемой на корпоративном уровне;
- привлекательной для внедрения и поддержки.

При разработке ГИС возникают трудности в обработке больших массивов используемой пространственной и атрибутивной информации, поэтому при разработке необходимо выделять основные этапы работ:

1. анализ предметной области, предпроектное исследование, разработка технического задания и проектной документации в соответствии с требованиями по разработке;
2. сбор и уточнение общегеографической и специальной картографической (пространственной) информации: бумажных карт, описаний положения объектов, электронных карт, снимков местности и других материалов;
3. разработка прототипа ГИС в виде системы, демонстрирующей ключевые функции на фрагменте данных;
4. проектирование системы безопасности;
5. создание и заполнение серверной базы данных ГИС;
6. реализация основных элементов системы в виде настольного клиента и системы удаленного доступа;
7. интеграция ГИС с действующими информационными системами предприятия;

Выполнение выше перечисленных этапов позволяет распределить выполнение поставленных задач по специалистам, выявить слабые стороны разработанной системы, отладить программное обеспечение, проверить систему на адекватность поведения, а также уязвимость системы от несанкционированного доступа и хакерских атак.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ «14-08-31570 мол_a_2014».

Литература

1. Дорофеев Н.В., Орехов А.А. Построение географической информационно-аналитической системы для геоэкологического мониторинга. // Алгоритмы, методы и системы обработки данных: Электронный научный журнал / под ред. С.С. Садыкова, Д.Е. Андрианова. Вып. 2 (20). – Муром: Муромский институт (филиал) ВлГУ, 2012 – С. 19-27
2. Дорофеев Н.В., Орехов А.А., Романов Р.В. Организация регионального сбора данных в географической информационно-аналитической системе геоэкологического мониторинга // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, №2, 2012;
3. Романов Р.В. Применение сервис – ориентированной архитектуры в географической информационно-аналитической системе для магнитотеллурического геодинамического мониторинга. // Алгоритмы, методы и системы обработки данных: Электронный научный журнал / под ред. С.С. Садыкова, Д.Е. Андрианова. Вып. 1 (23). – Муром: Муромский институт (филиал) ВлГУ, 2013;
4. Романов Р.В. Использование географической информационной системы для геодинамического прогнозирования на локальном уровне. // Алгоритмы, методы и системы обработки данных: Электронный научный журнал / под ред. С.С. Садыкова, Д.Е. Андрианова. Вып. 2 (27). – Муром: Муромский институт (филиал) ВлГУ, 2014.

Классификация природных экзогенных геологических процессов

Методика исследования любого природного процесса или явления – это следствие теоретических знаний о нем. Классификация процессов и явлений наиболее четко и лаконично отражает их изученность, а потому является основой для разработки методики их дальнейшего исследования. Чем корректнее и полнее классификация, тем правильнее и информативнее методика исследования.

Анализ общих классификаций природных экзогенных геологических процессов показал, что все они построены на разных принципах, в основном без четкого разграничения процессов и явлений, чаще учитывают различия условий развития, а не самих процессов, неполно отражают литокриогенные процессы. Большое число классификаций свидетельствует в известной мере о незавершенности на данном этапе работы по систематике природных процессов.

В основу предлагаемой многоступенчатой общей классификации природных экзогенных геологических процессов, положены качественные особенности самих процессов. Учитывается пять признаков:

- 1) Роль процессов в литогенезе, по которой они разделяются на осадкообразующие и породообразующие, а каждая из этих групп на процессы мобилизации, переноса накопления преобразования вещества;
- 2) Среда развития: субэральные и субаквальные процессы;
- 3) Время проявления: многолетние, сезонные, кратковременные;
- 4) Роль криогенного фактора, т.е. фазовых переходов в развитии процессов (литогенные без участия криогенного фактора и литокриогенные с его участием);
- 5) Тип процесса по основным особенностям его механизма.

Дальнейшее деление каждого процесса все более индивидуальное и может быть выполнено лишь специалистом по его изучению.

При изучении процессов на определенной территории общая их классификация служит основой для построения регионального ее варианта, детализированного с учетом ряда дополнительных качественных и количественных признаков и являющегося основой для создания регионального варианта методики их исследования.

Правильная методика исследований процессов позволяет не только выявить их основные региональные особенности, но и дает основания для уточнения, детализации, а иногда и существенной перестройки их классификаций.

Статистический способ выделения геофизических аномалий в зимнее время

Наиболее распространенным геофизическим методом, применяемым в настоящее время, является электропрофилирование в различных модификациях. Исследования приповерхностных слоев в зимнее время связано со многими трудностями, которые обуславливаются своеобразной геологической обстановкой: засоленностью грунтов, их низкой температурой и высокой льдистостью.

Практически повсеместная засоленность верхней толщи наряду с горизонтальными неоднородностями отложений оказывает одно из решающих воздействий на распределение возбуждаемого электрического поля, в результате чего наблюдаемое поле имеет сглаженный характер, уровни помех и полезного сигнала становятся соизмеримыми, что делает невозможной уверенную интерпретацию результатов электропрофилирования.

В этом случае весьма плодотворным является привлечение статистических методов обработки наблюдений. На примере площадных наблюдений методом симметричного электропрофилирования постоянным током на предполагаемой площадке Нижегородской АЭС в с. Монаково, рассматривалась возможность разделения наблюдаемого поля на локальные и региональные компоненты, первая из которых соответствует аномалиям, а вторая отражает возмущение поля иными геологическими объектами, которые препятствует выделению полезного сигнала.

Региональный фон вычисляется путем осреднения исходных данных в окнах 3x3 и 5x5 точек наблюдения:

$$x_{ijp} = \sum_{k=-e}^e \sum_{p=-e}^e a_{kp} \cdot x_{i+k, j+p}$$

где, x_{ij} - наблюдаемое значение на пикете

x_{ijp} - региональная компонента

a_{kp} – весовая функция

Весовая функция была выбрана в виде:

$$a_{kp} = \frac{\left(1 + \cos \frac{\pi k}{e+1}\right) \cdot \left(1 + \cos \frac{\pi p}{e+1}\right)}{4(e+1)^2}$$

Локальная компонента вычислялась путем вычитания регионального фона из наблюдаемого поля:

$$x_{ijl} = x_{ij} - x_{ijp}$$

Результаты статистической обработки геофизических данных позволяют говорить о высокой эффективности применения статистического метода для выделения аномалий при характере наблюдаемого поля.

Особенности визуализации данных наблюдений за карстовыми процессами в ГИС

В системе наблюдения за карстовыми процессами для каждой карстовой формы существует одно или несколько описаний (наблюдений). Каждое наблюдение может давать как полное описание объекта, так и частичное – только важные характеристики или изменения [1, 2]. По ряду наблюдений можно проследить протекание карстовых процессов и изменения (эволюцию) карстовых форм.

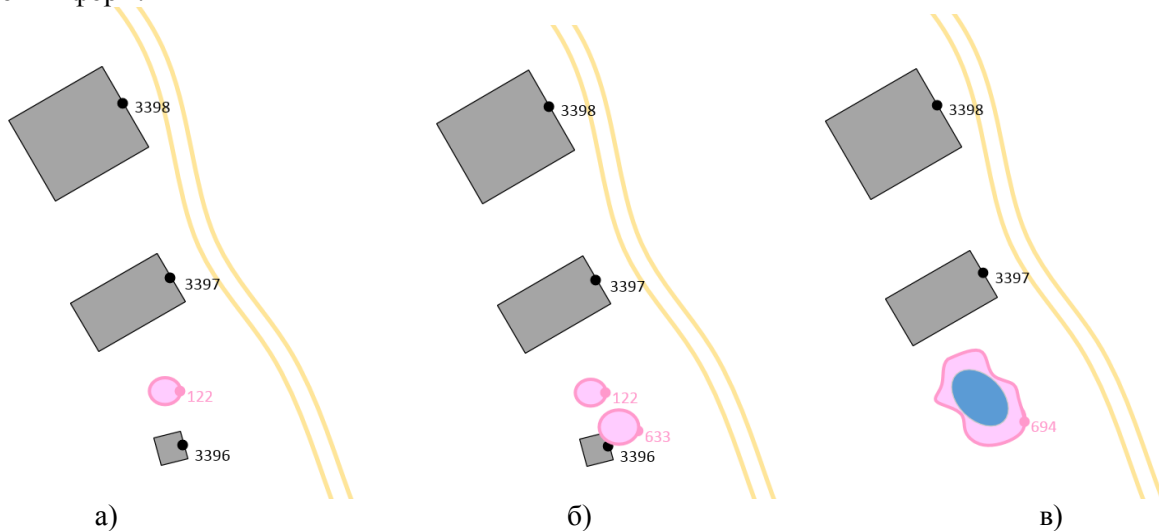


Рис. 1. Пример эволюции карстовых форм на карте:

- а – одна карстовая форма,
- б – появление второй карстовой формы с частичным разрушением объекта,
- в – объединение карстовых форм в одну с частичным заполнением водой.

Рассмотрим пример эволюции карстовых форм (см. рис. 1) [3]. В начальный момент времени имеется одна карстовая воронка №122 (рис. 1а), расположенная между жилым домом и баней. В ходе развития карстовых процессов образуется новая карстовая форма №633 (провал), затрагивающая имеющийся объект №3396 (баню) и вызывающая его частичное разрушение (рис. 1б). В ходе дальнейшего опускания поверхности объекты №122 и №633 объединяются в один объект сложной формы №694, который частично заполняется водой (рис. 1в). Как можно заметить, в последнем случае произошло изменение и самой картографической основы – исчез (был разобран) объект № 3396 (баня).

Рассмотрим особенности развития карстовых процессов, влияющие на их визуализацию в ГИС:

- форма и состояние объектов наблюдения (карстовых форм) может изменяться;
- положение карстовых форм в пространстве остаётся постоянным (за исключением изменения их геометрии);
- существующие карстовые формы могут заменяться новыми объектами (например, объединение нескольких воронок и провалов в единый объект);
- частота изменения состояния и появления новых объектов невелика;
- картографическая основа может изменяться в результате воздействия природных явлений и деятельности человека.

Для визуализации данных наблюдения за карстовыми процессами можно использовать следующие положения:

1. Основной информацией для визуализации являются объекты (карстовые формы) и их состояния (геометрия, наличие воды и т.д.).

2. В качестве основы для пространственной привязки карстовых форм к картографической основе используются GPS координаты объектов.

3. Проявления карстовых процессов (воронки, провалы) имеют замкнутую, чаще всего округлую, форму. По этой причине на карте их можно представить либо в виде эллипсов, либо в виде замкнутых полилиний. В первом случае достаточно хранить координаты центра эллипса и радиусы большой и малой полуосей. Дополнительно может указываться угол поворота осей эллипса. Во втором случае необходимо хранение последовательности пар координат, задающих контуры объекта. При этом последняя пара координат должна совпадать с первой.

4. Так как карстовые формы могут появляться в разное время, возникает задача определения временных интервалов, когда та или иная форма будет отображаться на карте. Для определения начального интервала может использоваться информация о времени появления карстовой формы или данные первого её описания. Время появления не всегда может быть определено: карстовые воронки образуются медленно, а старые провалы могут быть не описаны надлежащим образом. В этом случае в качестве времени и используется время первого описания объекта. Верхняя граница времени отображения объекта устанавливается только в том случае, если в качестве статуса объекта указано, что он перестал существовать (перешел в другой объект или был устранен). В этом случае дата последнего описания (при которой и был изменен статус объекта) и читается верхней границей времени отображения.

5. Для определения состояния карстовых форм используются данные наблюдений. Конкретные характеристики объектов выбираются из наборов данных, представленных в каждом наблюдении. Карстовый объект может менять свое состояние. Например, провалы могут заполняться водой, заболачиваться или высыхать. Так как наблюдения могут быть неполными и часто описывают только те или иные изменения [4], для выявления смены состояний необходимо проводить анализ не только текущего, но и предыдущих наблюдений объектов. Состояние s_i считается изменившимся, если $s_i \neq s_j$, где $s_j \neq 0$ (имеет установленное значение) и $i > j$. Так как не все состояния могут описываться при наблюдениях, принимается набор состояний по умолчанию (например, отсутствие воды в карстовой форме, отсутствие растительности и т.д.).

6. В результате развития карстово-суффозных процессов, объекты могут объединяться друг с другом. При активной хозяйственной деятельности карстовые формы могут исчезать (например, засыпание воронок при земляных работах). По этой причине, необходимо введение статуса объекта. Статус по умолчанию для любого объекта – «объект существует». При объединении с другими объектами устанавливается статус «объект объединён», при преобразовании объекта (например, превращении провала в водоём), устанавливается статус «объект преобразован». При исчезновении объекта устанавливается статус «объект не существует».

7. В связи с тем, что территория может претерпевать изменения, картографическая основа требует обновления. Для упрощения этого процесса предлагается использовать несколько карт, описывающих территорию на тот или иной период времени. При визуализации для показа выбирается та карта, которая ближе всего к выбранной пользователем временной отметке.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-07-97510.

Литература

1. Шарапов Р.В. Мониторинг экзогенных процессов // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности*, 2012 г, № 2, С.39-42

2. Шарапов Р.В. Визуализация динамики развития карстов в системе наблюдения за карстовыми процессами // *Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции: XVI Всероссийская научная конференция «RCDL'2014»*. Дубна, 13-16 октября 2014 г.: труды конференции – Дубна: ОИЯИ, 2014 - С. 275-279.

3. Шарапов Р.В., Кузичкин О.Р. Организация хранения разнородных данных в системе наблюдения за карстовыми процессами // *Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции: XV Всероссийская научная конференция «RCDL'2013»*. Ярославль, 14-17 октября 2013 г.: труды конференции – Ярославль: ЯрГУ, 2013 - С. 417-418.

4. Sharapov R.V., Kuzichkin O.R. Geodynamic monitoring in area of nuclear power plant // *Applied Mechanics and Materials*, 2014, Vol. 492. pp 556-560.

О создании ретроспективных карт наблюдения за карстовыми процессами

В ходе реализации системы наблюдения за карстовыми процессами возникла задача осуществления привязки данных о карстовых формах к картографической основе и их визуализации [1, 2].

На начальном этапе реализации проекта сложностей практически не возникло – вся информация о существующих проявлениях карстовых процессов (провалы, воронки) была привязана к карте местности на основе координат. Но, в дальнейшем возникла необходимость внесения информации о динамике развития карстовых процессов. Для отражения текущего состояния достаточно хранить информацию о имеющихся в настоящий момент проявлениях карста. В этом случае нанесение на карту предыдущих состояний не требуется. С другой стороны, для получения полной картины о развитии карстовых процессов необходимо иметь данные об их динамике. При этом возникает новая задача: осуществлять визуализацию не только текущего состояния карстовых процессов, но и предыдущих состояний (получать карты для заданных временных отметок, например, год назад, 10 лет назад и т.д.). Другими словами, возникает необходимость составления ретроспективных (временных) карт.

Существует два основных подхода для создания ретроспективных (пространственно-временных) карт [3]:

- создание набора пространственно-временных карт, отражающих состояние объектов исследования в конкретные периоды времени (например, раз в месяц, раз в год и т.д.),
- генерирование карт автоматически на основе данных наблюдений (в том числе с анимацией динамики изменений).

Первый вариант является достаточно трудоёмким, так как требует привлечения специалистов для создания очередной карты. За счёт этого, процесс создания карт является модерируемым и контролируется человеком для исключения ошибок. Кроме того, при составлении каждой новой карты есть возможность использовать обновленные картографические основы (карты территории).

Второй вариант не требует привлечения специалистов для генерирования карты – оно происходит в автоматическом режиме. Как результат – могут появляться ошибки. Тем не менее, вариант с автоматической генерацией карт является более привлекательным.

В настоящее время существует достаточно большое количество работ, посвященных созданию и использованию пространственно-временных карт. Такие карты используются для мониторинга движения транспорта, загрузки дорог, отображения текущего состояния и прогнозов погоды, распространения загрязнений и т.д. Существуют решения для отображения динамики изменения тех или иных процессов, в том числе и в реальном масштабе времени. Для этих целей используются специализированные пространственно-временные (Spatio-Temporal GIS) и ретроспективные (Temporal GIS) ГИС.

Достаточно подробно вопросы представления ретроспективной (временной) информации в ГИС рассмотрены в [4]. Описывается модель времени в картографии и варианты представления пространственно-временных данных с помощью моделей: пространственно-временного куба, последовательных снимков, базы состояний с изменениями и пространственно-временной комбинации.

В [5] рассмотрены основные модели для реализации ретроспективных ГИС: модели, основанные на положении объектов, на объектах или их свойствах, на времени, событийные модели, процессно-ориентированные модели, причинные модели.

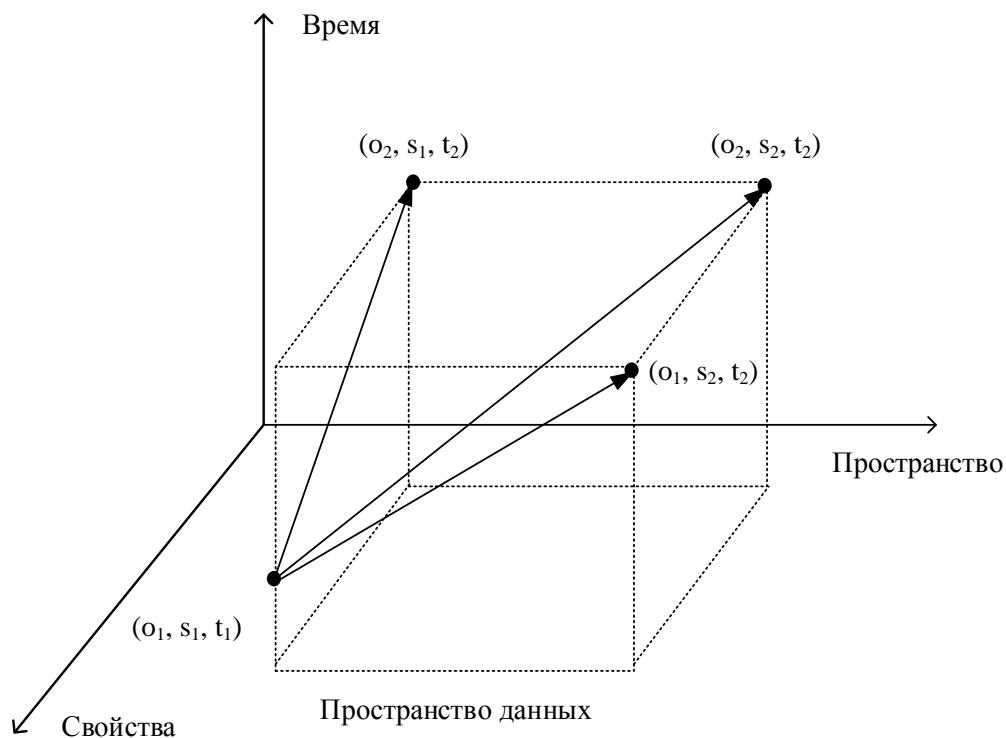


Рис. 1. Трехмерное пространство данных.

Каждый объект можно описать в виде тройки (o_i, s_i, t_i) , где o_i – свойства объекта, s_i – пространственное положение объекта, t_i – временная отметка, когда o_i существует в s_i (см. рис. 1) [6]. Модели, основанные на положении объектов, рассматривают перемещение по оси «Пространство». В этом случае модель представляет собой набор параллельных плоскостей «Свойства-Время» $\{(o, s_j, t)\}$, где $1 \leq j \leq n$ [4]. Модели, основанные на объектах или их свойствах рассматривают перемещение по оси «Свойства», и представляют собой набор параллельных плоскостей «Пространство-Время» $\{(o_i, s, t)\}$, где $1 \leq i \leq m$ [6, 7, 8]. В моделях, основанных на времени, делаются временные снимки реальности (набор плоскостей «Пространство-Свойства») $\{(o, s, t_k)\}$, где $1 \leq k \leq l$ [5]. В событийных моделях, переход между состояниями представляется событиями. События можно представить как линии, соединяющие два состояния в пространстве данных [9, 10]. В процессно-ориентированных моделях рассматриваются протекающие процессы, например, изменение одного объекта, функциональная связь между объектами или изменение пространственной структуры, связанной с некоторыми объектами [11]. Вопросам моделирования и управления пространственно-временными данными посвящены работы [12, 13].

Таким образом, существует ряд решений в области представления пространственно-временной (ретроспективной) информации в ГИС. Использование того или иного решения во многом связано с поставленной в каждом конкретном случае задачей.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-07-97510.

Литература

1. Чайковская Н.В., Кузичкин О.Р., Шарапов Р.В., Кузичкина Е.О. Проблемы размещения Нижегородской АЭС на площадке Монаково // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности*, 2013 г, № 3, С.27-36.
2. Шарапов Р.В. Мониторинг экзогенных процессов // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности*, 2012 г, № 2, С.39-42.
3. Шарапов Р.В. Визуализация динамики развития карстов в системе наблюдения за карстовыми процессами // *Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции: XVI Всероссийская научная конференция «RCDL'2014»*. Дубна, 13-16 октября 2014 г.: труды конференции – Дубна: ОИЯИ, 2014 - С. 275-279.

4. Langran G., *Time in Geographic Information Systems*. – London: Taylor and Francis. 1992. - 191 p.
5. El-Geresy B.A., Abdelmoty A.I.; Jones C.B. Spatiotemporal geographic information systems: a causal perspective // *Advances in Databases and Information Systems*, Bratislava, Slovakia, 2002. pp. 191-203.
6. Becker L., Voigtmann A., Hinrichs K.H. Temporal support for geo-data in object-oriented databases // *7th International Conference on Database and Expert Systems Applications DEXA'96*, Zurich, Switzerland, September 9-13 1996. pp.79-93.
7. Voigtmann A. *An Object-Oriented Database Kernel for Spatio-Temporal Geo-Applications* // Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften, 1997. 260p.
8. Ramachandran S., McLeod F., Dowers S. Modeling temporal changes in a GIS using an object-oriented approach // *Proceeding of the 7th International Symposium on Spatial Data Handling*, 1996, vol. 2., pp. 518-537.
9. Peuquet D.J., Duan N. An Event-Based Spatiotemporal Data Model (ESTDM) for temporal Analysis of Geographical Data // *International Journal of Geographic Information Systems*, 1995, vol. 9(1), pp. 7-24.
10. Claramunt C., Theriault M. Managing time in GIS: An event-oriented approach // *Recent Advances on Temporal Databases*. Springer Verlag, 1995.
11. Cheng T., Molenaar M. A process-oriented spatio-temporal data model to support physical environment modeling // *Proceeding of the 8th International Symposium on Spatial Data Handling*, 1998, pp. 418-429.
12. Wang X.Y., Zhou X.F., Lu S.L. Spatiotemporal data modelling and management: a survey // *36th International Conference on Technology of Object-Oriented Languages and Systems TOOLS-Asia*, Oct 30-Nov 4 2000, Xi'an, pp.202-211.
13. Worboys M.F. A model for spatio-temporal information // *Proceedings of the Fifth International Symposium on Spatial Data Handling*, Volume 2, Charleston, SC, 1992, pp. 602-611.

П.С. Шпаков
Муромский институт Владимирского государственного университета
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, д.23
E-mail: spsp01@rambler.ru

Ю.Л. Юнаков, В.А. Чумляков
Сибирский Федеральный университета. Институт горного дела геологии и геотехнологий
660025, г. Красноярск, пр. Вузовский, 3, ауд. 415 у.к.
E-mail: JJunakov@sfu-kras.ru

Маркшейдерские наблюдения за поведением массивов водозащитной дамбы и бортов карьера

Геомеханический мониторинг на месторождении, как система наблюдений, оценки и прогноза состояния устойчивости бортов, и уступов карьера, а также водозащитной дамбы карьера I очереди, имеет определяющее значение для обеспечения эффективной и безопасной его разработки [1].

К объектам мониторинга безопасности ГТС водозащитной дамбы карьера I очереди ОАО «Горевский ГОК» относятся: водозащитная дамба карьера I очереди; чаша карьера с открытым зумпфом; дренажная система (после строительства); система контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) [2].

При ведении мониторинга безопасности гидротехнических сооружений водозащитной дамбы основными функциями являются: наблюдения за состоянием водозащитной дамбы карьера I очереди; контроль фактических параметров дамбы; наблюдения за кривой депрессии в теле дамбы; наблюдения за деформациями; наблюдения за фильтрационным режимом; контроль уровня воды в карьере; контроль уровня воды в р. Ангара; наблюдения за исправностью оборудования и целостностью здания насосных станций.

Методика проведения натуральных наблюдений за контролируруемыми параметрами состояния дамбы представлена в разделе 3.8 [2] и позволяет выявить любые деформации и исключить аварийные, так как им предшествует накопление ряда причин, которые путем наблюдений могут быть заранее установлены. Поэтому нами дополнительно на полке дамбы с отметкой +90м заложено 17 опорных реперов, а вдоль основания с отметкой +85м на поверхности, примыкающей к верхней бровке карьера – 13 реперов, в районе РЛ.4а, РЛ.3а, РЛ.2а, РЛ.0, РЛ.1, РЛ.2, РЛ.3, РЛ.4. Наблюдения по этим реперам производилось одновременно с наблюдениями по профильным линиям наблюдательной станции, заложённой на борту карьера (отметка поверхности +85м) и на берме первого уступа с отметкой +65м.

На карьере «Горевского ГОКа» мониторинг осуществлялся в следующих направлениях: визуально-инструментальный контроль состояния уступов и берм бортов карьера; контроль относительных деформаций межблоковых смещений по трещинам на локальных участках карьера; инструментальный контроль относительных деформаций смещения по рофильным линиям.

Визуальное обследование уступов и берм карьера показали, что одним из наиболее неблагоприятных и опасных по нарушенности массивов трещинами, является северо-восточный участок поставленного на предельный контур борта в пределах отметок гор.+45 - +85 м района разведочных линий РЛ1а – РЛ1, приуроченная к выходам углисто-сланцевых пород (рис. 1). Там, за последнее время, отмечены наиболее крупные вывалы и обрушения горных пород по заколам и трещинам. На этих участках борта карьера на поверхности бермы четко прослеживается крутое падение межблоковых трещин, простирающихся как перпендикулярно так и практически параллельно откосам уступов.

Анализ результатов наблюдений по заложённым реперам 11-ти профильных линий, охватывающих прибортовой массив по периметру дамбы и ее нижнюю полку, позволяет сделать следующие выводы:

- смещения реперов в вертикальной плоскости (оседания) и горизонтальной (горизонтальные сдвиги) зафиксированы на реперах профильных линий в районе от РЛ1 до РЛ1а. Максимальное оседание величиной 583 мм зафиксировано на 12 репере, а максимальное горизонтальное сдвигание (растяжение) отмечено на интервале 1128-12 равное 638 мм, скорости максимальных смещений составили соответственно: 4,4 мм/сут и 4,12 мм/сут. Все реперы подвергшиеся смещениям находятся в зоне образования трещин и террас (опасная зона);



Рис. 1. Заколы и обрушения на горизонтах +45 - +85 м района разведочных линий РЛ1а – РЛ1

- общая динамика зарегистрированных скоростей смещений в цикле 0-1 обусловлена продолжающейся усадкой опорных реперов. Частные скорости смещений рабочих реперов Р10, Р12 и Р14 обусловлены расположением реперов в зоне развития заколообразования (зоны зияющих трещин и террас РЛ1-РЛ1а);

- общая динамика зарегистрированных скоростей смещений в цикле 0-1-2 позволяет сделать выводы об устойчивом состоянии большинства наблюдаемых реперов и массива. Уменьшение скорости смещений опорного репера 1125 с 0,7мм/сут до 0,1мм/сут обусловлено завершением процесса его усадки. Частная скорость смещений рабочего репера Р12 обусловлена расположением репера в зоне развития заколообразования (РЛ1-РЛ1а) и позволяет отнести этот участок к 3 классу опасности, по предлагаемой нами системе.

- общая рекомендованная периодичность наблюдений за смещениями реперов наблюдательных станций составит 2 раза в год (предпочтителен цикл «весна-осень»). В зоне развития заколообразования (опасная зона) необходим ежемесячный режим наблюдений и закладка реперов площадной наблюдательной станции для установления контуров опасной зоны в плане.

Полученные результаты по абсолютным наблюдениям, т.е. по определению координат реперов x, y, z из-за короткого периода исследований не позволяют однозначно охарактеризовать смещение реперов в пространстве, но тем не менее они подтверждают результаты полученные из измерений по профильным линиям. Продолжение работ в этом направлении позволят более динамично фиксировать все проявления деформационных процессов, происходящих в массиве горных пород.

Следует обратить внимание на зафиксированный процесс выпаривания в районе РЛ1а – РЛ3а на нижней полке и у основания гребня дамбы.

Вышеизложенные рекомендации по процессам, определяющим параметры сдвига и взрывных работ в сложившихся условиях эксплуатации карьера, необходимо сопровождать наблюдениями за дамбой и прибортовыми массивами в соответствии с регламентом мониторинга, разработанным ООО «Промгидротехника» и геомеханическим мониторингом, предложенным ИГДГГ СФУ.

Литература

1. Разработка геомеханического мониторинга для карьера ОАО «Горевский ГОК» (договор № ОГР-071-5). Отчет по НИР. Красноярск, ИЦМиЗ СФУ, 2007. – 99с.
2. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. Л., ВНИМИ, 1987, -118с.

П.С. Шпаков
Муромский институт Владимирского государственного университета
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, д.23
E-mail: spsp01@rambler.ru
С.Г. Ожигин, С.Б. Ожигина
Карагандинский государственный технический университет (КарГТУ)
Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56;
E-mail: kargtu@kstu.kz

Исследование состояния устойчивости откосов уступов, бортов и внутренних отвалов Шубаркольского угольного разреза

Мониторинг состояния и обеспечение устойчивости карьерных откосов – важная задача для эффективного и безопасного ведения горных работ.

Система геомеханического мониторинга состояния устойчивости карьерных откосов формируется на основе инструментальных маркшейдерско-геодезических наблюдений и заключается в создании сети наблюдательных станций, выборе средств и методики высокоточных измерений, в математической обработке результатов наблюдений, в анализе и прогнозе состояния устойчивости карьерных откосов.

Исследования были направлены на изучение процесса сдвижения и деформаций прибортовых и отвальных массивов разрезов Центральный и Западный АО «Шубарколь комир» на основе инструментальных наблюдений, которые позволяют своевременно обнаружение деформаций бортов карьеров для оперативной оценки степени опасности этих деформаций и принятия мер, опережающих их развитие, по обеспечению безопасности ведения горных работ.

В рамках исследования геомеханического состояния откосов уступов, бортов и внутренних отвалов Центрального и Западного разрезов нами были выполнены следующие работы:

1. Произведена закладка наблюдательной станции ОТ на внутреннем отвале Центрального разреза.
2. Произведена закладка наблюдательной станции ZOT на внутреннем отвале Западного разреза.
3. Выполнено две серий высокоточных инструментальных наблюдений за состоянием устойчивости откосов уступов, бортов и внутренних отвалов на Центральном и Западном разрезах АО «Шубарколь комир».
4. Полученные данные отражают динамику деформации во времени и позволяют делать вывод о закономерности и тенденциях оползневых явлений в исследуемых зонах.
5. По наблюдательной станции ОТ была установлена осадка реперов, которая достигает 361мм. в верхней части станции (гор. +436м). Суммарные деформации сжатия в плане достигают 155мм. Данные деформации обусловлены уплотнением тела отвала в течении времени.
6. Исследования влияния буровзрывных работ на целостность прибортового массива показывают, что на станции XII величина зоны смещения реперов более ± 5 мм на горизонте взрывного блока в не зажатой среде достигает 20м от крайнего ряда взрывных скважин. На вышележащем горизонте деформаций обнаружено не было. На станции XIII величина зоны смещения реперов более ± 5 мм на горизонте взрывного блока в не зажатой среде достигает 26м. В связи с тем, что на нижележащем горизонте профильные линии были заложены во взорванную массу, величина зоны смещения ± 5 мм достигает 36м.

Результаты наблюдений показывают, что, в целом, *уступы и борта разрезов и ярусы отвалов находятся в устойчивом состоянии*. Имеются локальные деформации виде трещин, заколов, осадок пород и осыпей. Это связано с техногенным влиянием буровзрывных работ, обводнением откосов и площадок уступов, процессами выветривания, выгорания углесодержащих пород и другими факторами снижающими прочность массива в течении времени.

Для надежного обеспечения устойчивости карьерных откосов необходимо соблюдать следующие рекомендации:

- требуется провести дополнительные исследования прочностных характеристик горных пород массива и отвалов соответствующие стадии эксплуатационной разведки;

- изучить структурные особенности прибортовых массивов (трещиноватость, геологическую нарушенность, блочность и т.д.);
- исследовать интенсивность процессов выветривания и осыпобразования на вскрытой части прибортовых массивов разреза, влияние фактора времени и климатических условий на прочность пород горного массива;
- вести мониторинг подземных вод, контролировать уровень депрессионной кривой и не допускать переувлажнения откосов уступов, обеспечивая своевременный отток карьерных вод;
- в районах геологических нарушений горного массива параметры уступов принимать на основе специально разрабатываемых противодеформационных мероприятий;
- обязательно вести паспортизацию деформаций, мониторинг развития или затухания деформаций (определение скорости деформирования карьерных откосов), контроль ликвидации последствий деформирования откосов;
- разработать и применять специальную технологию ведения взрывных работ при постановке уступов на «проектный рабочий контур» в зоне ведения горных работ по бестранспортной технологии, обеспечивающую максимальную сохранность естественной прочности пород, слагающих уступ;
- не допускать образование заколов в верхней части рабочих уступов в зоне ведения горных работ по бестранспортной технологии, связанных с ведением взрывных работ, влиянием процессов выветривания и обводнения, а также климатических условий на прочность пород, слагающих уступ;
- обязательно систематически производить механическую зачистку откосов рабочих уступов, отрабатываемых по бестранспортной технологии экскаватором ЭШ-10/70, с использованием экскаватора механическая лопата с удлиненной стрелой типа ЭКГ-5У или другим способом; а также *по результатам обследования* для откосов стоящих более полугода производить зачистку выветрелых пород откосов уступов и очистку межуступных площадок;
- для недопущения деформаций необходимо строго соблюдать технологическую дисциплину при постановке уступов на рабочий контур и выполнять требования «Единых правил безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом» - обеспечить производство систематических инструментальных наблюдений за состоянием устойчивости карьерных откосов, в соответствии с методическими указаниями ВНИМИ. На самых ответственных участках в зоне работы горной техники организовать автоматизированные наблюдения за состоянием устойчивости карьерных откосов;
- организовать специальную геомеханическую службу, в обязанности которой будет входить геомеханический контроль состояния устойчивости прибортовых и отвальных массивов разрезов. Для его обеспечения данная служба производит сбор текущей технологической, маркшейдерской и геологической информации, геомеханическую оценку принимаемых производственных решений и оперативное устранение опасных ситуаций при получении результатов дополнительных исследований. А также регулярно, в зависимости от геомеханической обстановки, но не реже одного раза в месяц проводит инспекцию всех карьерных и отвальных откосов, а также бортов и отвалов в целом. Деятельность геомеханической службы на предприятии позволит эффективно и безопасно управлять устойчивостью уступов и бортов разрезов и ярусов отвалов. Такие службы в последние годы организованы лидерами горной промышленности Казахстана: ТОО «Корпорация Казахмыс», АО «ССГПО», АО «Арселор Миттал Темиртау» и др.

По нашему мнению, выполнение данных рекомендаций обязательно для предприятия. При их несоблюдении ответственность за состояние устойчивости бортов разреза Центральный в зоне ведения горных работ по бестранспортной технологии возлагается на АО «Шубарколь комир», так как в этом случае устойчивость откосов не может быть надежно обеспечена.

Ю.Л. Юнаков, В.А. Чумляков, А.Н. Хозяинов, М.В. Шпакова
Сибирский Федеральный университета. Институт горного дела геологии и геотехнологий
660025, г. Красноярск, пр. Вузовский, 3, ауд. 415 у.к.
E-mail: JJunakov@sfu-kras.ru

Оценка устойчивости свободных (ненагруженных) отвалов Черногорского месторождения

Для расчета устойчивости отвалов Черногорского месторождения использовались следующие исходные данные: - угол откоса отвала - $\alpha = 38^\circ$; - прочностные характеристики пород тела отвала при коэффициенте запаса $n=1,2$ – сцепление $C_n=3,0 \text{ Т/м}^2$, угол внутреннего трения $\varphi_n = 27,5^\circ$; плотность $\gamma = 1,8 \text{ Т/м}^3$.

Основанием внешних отвалов служат безводные суглинки с большим содержанием гравия и гальки мощностью 3-6м, залегающие несогласно на коренных породах. По своим физико-механическим свойствам основание можно считать устойчивым.

Основанием внутренних отвалов являются наклонно залегающие слои крепких пород – песчаников и алевролитов. Прочность пород достаточно высокая.

Гидрологические условия месторождения благоприятные – из-за низкой обводненности пород, приток подземных вод в горные выработки незначителен.

По горно-геологическим условиям отвалообразования, встречающимся в практике открытых горных работ, отвалы разреза «Степной» могут быть отнесены к отвалам прочных и слабых пород на прочном основании [1].

Параметры отвалов, расположенных на прочном основании, определяются физико-механическими свойствами отвальной массы.

Прочными породами называются скальные и полускальные породы различного состава, величина сцепления в куске которых превышает 200 Т/м^2 или величина сопротивления одноосному сжатию более 800 Т/м^2 .

Прочное основание отвалов может быть представлено скальными, полускальными и песчанно - гравийными породами, не имеющими четко выраженной слоистости, слабых контактов и слабых прослоек. Основание, имеющее угол наклона до 10° , является горизонтально-пологим; при углах наклона более 10° - наклонным.

Расчеты устойчивости отвалов прочных пород на прочном горизонтально-пологом основании показывают, что высота яруса таких отвалов может быть практически неограничена. В этом случае высоту отвала устанавливают технико-экономическими расчетами с учетом удорожания транспортирования при увеличении высоты отвалов, расходов на устройство и поддержание транспортных путей, возможности применения мощного оборудования на высоких отвалах и их рекультивации.

В практике разработки угольных месторождений чаще всего встречаются два типа смесей: отвалообразующие породы, близкие по своим прочностным свойствам и резко отличающимся по прочности.

В первом случае сопротивление сдвигу таких смесей определяют, как средневзвешенную величину физико-механических пород нарушенной структуры, составляющих отвал.

При содержании в отвалообразующих породах от 15 до 40% глинистого заполнителя происходит снижение сопротивления сдвигу – от сопротивления сдвигу прочных пород до сопротивления сдвигу глинистого заполнителя. Расчет устойчивости отвалов в этом случае производится методом касательных напряжений по общему сопротивлению сдвигу.

Отвалообразующие породы Черногорского месторождения разреза «Степной» можно отнести к первому типу и оценку устойчивости отвала производить по круглоцилиндрической поверхности скольжения по методике, предназначенной для расчета устойчивости однородных откосов.

При этом расчет устойчивости однородного откоса может быть произведен методом алгебраического сложения при угле внутреннего трения $\varphi < 20^\circ$ или методом многоугольника сил, если $\varphi > 20^\circ$. Расчет высоты устойчивого отвала производим по графикам в приложении 1 [1], построенным на основе метода многоугольника сил.

Для этого по графикам для $\alpha = 38^\circ$ определяем значение безразмерного комплекса А, соответствующего углу внутреннего трения $\varphi = 27,5^\circ$. Получаем $A = 49,0$.

По величине комплекса А вычисляем высоту устойчивого предельного откоса

$$H = \frac{A \cdot c}{\gamma} = \frac{49,0 \cdot 3,0}{1,8} = 81,7 \text{ м.}$$

Ширину призмы возможного обрушения для предельного откоса с параметрами: $H=81,7 \text{ м}$ и $\alpha = 38^\circ$ определяем по графикам, приведенным в этом же приложении 1 [1]. Для этого по графикам на рис. п. 1.5 находим значение отношения $\frac{a}{H}$, соответствующее углу внутреннего трения $\varphi = 27,5^\circ$ и углу откоса $\alpha = 38^\circ$. $\frac{a}{H} = 0,095$.

Определяем искомую ширину призмы возможного обрушения а:

$$a = H \left(\frac{a}{H} \right) = 81,7 \cdot (0,095) = 7,8 \text{ м.}$$

Выполним проверочный расчет полученного предельного откоса методом многоугольника сил. Для этого в крупном масштабе 1:500 отстраиваем профиль отвала высотой $H=81,7$ и углом наклона $\alpha = 38^\circ$. Поверхность скольжения определена и будет находится на расстоянии $a=7,8 \text{ м}$ от верхней бровки отвала. Она начинается вертикальной трещиной отрыва глубиной

$$H_{90} = \frac{2c}{\gamma} \cdot \text{ctg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = \frac{2 \cdot 3,0}{1,8} \text{ctg} \left(45^\circ - \frac{27,5}{2} \right) = 5,5 \text{ м,}$$

имеет вид круглоцилиндрической поверхности радиуса R, в верхней части наклонена под углом $\varepsilon = 45^\circ + \frac{\varphi}{2} = 58,8^\circ$ к горизонту, а в нижней части выходит в откос под углом $\mu = 45^\circ - \frac{\varphi}{2} = 31,2^\circ$ (рис.1). Прибортовой массив, ограниченный поверхностью скольжения, разделен на три блока; границами блока являются поверхности скольжения второго семейства, отклоненные от поверхности скольжения первого семейства на угол $\omega = 90^\circ - \varphi = 62,5^\circ$.

В расчет принимаются следующие силы (рис.1): - P_1, P_2 и P_3 - вес блока, т; cl_1, cl_2 и cl_3 - силы смещения по круглоцилиндрической поверхности скольжения; - cl'_1, cl'_2 - силы сцепления по границам блоков (поверхностям скольжения второго семейства);

- R_1, R_2, \dots, R_5 - реакции по поверхности скольжения и границам блоков.

Параметры для построения многоугольника сил:

$P_1 = 1312 \text{ т; } cl_1 = 147 \text{ т; } cl'_1 = 54 \text{ т; } P_2 = 1433 \text{ т; } cl_2 = 111 \text{ т; } cl'_2 = 54 \text{ т; } P_3 = 1290 \text{ т; } cl_3 = 167 \text{ т.}$ Многоугольник замкнулся, следовательно одноярусный отвал вскрышных пород высотой 81,7 м будет находится в предельном состоянии. Таким образом, высота отвала не должна превышать 81,7 м.

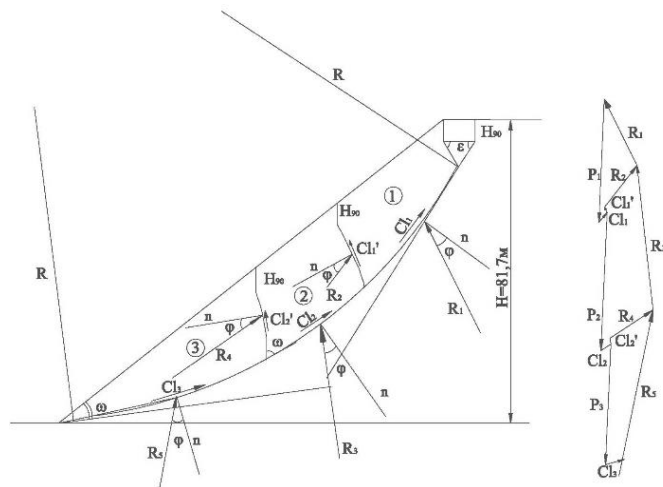


Рис. 3. Оценка устойчивости отвала методом многоугольника сил

Литература

1. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – СПб., 1998. – 208с. (Минтопэнерго РФ. РАН. Гос. НИИ горн. геомех. и маркшейд. Дела – межотраслевой научный центр ВНИМИ).