

Б.Хиллер

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ДЕФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ - ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА СЛУЖБУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ, НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Рассмотрены общие вопросы организации комплексного автоматизированного деформационного мониторинга наземных объектов, расположенных в районах деятельности предприятий горнодобывающей, нефтяной и газовой промышленности. **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** добыча полезных ископаемых; безопасность; деформационный мониторинг; автоматизированные системы деформационного мониторинга; пространственно-координированные данные.

В настоящее время Российское правительство осуществляет целый ряд крупных инфраструктурных проектов в области энергетики, добычи твердых полезных ископаемых, нефти и газа, развития транспортной инфраструктуры, имеющих большое значение для устойчивого экономического роста страны. Инновационное развитие экономики России требует комплексного подхода к обеспечению безопасности функционирования промышленности и жизнедея-

тельности человека в целом с целью предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций, предотвращения и смягчения последствий природных и техногенных катастроф. Большое число объектов горнодобывающей, нефтяной и газовой промышленности является потенциально опасным. Связанные с такими объектами угрозы включают в себя существенные риски по отношению к промышленной, технологической и экологической безопасности.

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ



**Просадка земной поверхности,
Уралкалий, 2006 г.**



**Просадка земной поверхности, Березники,
Пермский Край, 2008 г.**

Вследствие длительного освоения месторождений твердых полезных ископаемых и углеводородов все чаще наблюдаются аномальные деформации земной поверхности и проявление сейсмичности в районах освоения месторождений. Явными предвестниками и признаками развития таких процессов являются просадки земной поверхности и оползни, появление деформаций зданий и сооружений, наземных объектов инфраструктуры месторождения.

С целью увеличения объемов добычи полезных ископаемых на открытых выработках (карьерах) сегодня, в частности, используют метод укрупнения бортов карьера до максимально возможных углов наклона, увеличивая глубину и период открытой разработки.

Появление просадок земной поверхности различной глубины и протяженности, оползней, опасных деформаций у наземных объектов инфраструктуры может привести к аварийным ситуациям и разрушениям. Такие последствия могут сопровождаться значительным экономическим ущербом и человеческими жертвами.

Для получения достоверной информации о деформационном и геодинамическом состоянии районов освоения месторождений твердых полезных ископаемых и углеводородов подземным способом, а также бортовых пород на открытых выработках с целью предотвращения аварий и разрушения, а самое главное, обеспечения безопасности жизни людей, необходимо выполнение постоянного мониторинга деформационных процессов.

Данная статья рассматривает общие вопросы организации автоматизированного деформационного мониторинга наземных объектов, расположенных в районах деятельности предприятий горнодобывающей, нефтяной и газовой промышленности, не касаясь проблемы осуществления мониторинга деформаций земной поверхности, имеющих техногенный характер, с использованием современных технологий разветвления геотектонических полигонов.

Безопасность строительства и эксплуатации объектов горнодобывающей, нефтяной и газовой промышленности, особенно инфраструктурных объектов и районов добычи (шахты, открытые выработки, скважины), транспортной инфраструктуры (трубопроводы) в большой степени обеспечивается правильно организованной системой наблюдений за их деформациями (мониторинг деформационных процессов), возникающими в результате деятельности человека (добыча полезных ископаемых, эксплуатация объектов) и воздействия внешних факторов (климатическое воздействие, тектонические процессы). Деформационный мониторинг должен выполняться постоянно согласно определенному регламенту на протяжении всего периода строительства и эксплуатации объекта. Существующая сегодня нормативно-методическая база по деформационному мониторингу объектов в процессе их строительства и эксплуатации, в основном, устарела и не учитывает достижений научно-технического прогресса в области геодезического и контрольно-измерительного приборостроения, а также информационных технологий.



**Обвал земной поверхности, Кривой Рог,
июнь 2010 г.**

В процессе строительства и эксплуатации сооружения порой должны выдерживать колоссальные нагрузки и напряжения благодаря их способности незначительно деформироваться в зависимости от воздействия внешних условий. К внешним факторам, оказывающим влияние на деформации, можно отнести геодинамические последствия освоения месторождений, эксплуатационные нагрузки и изменения внешних климатических условий таких, как суточная смена температуры воздуха и солнечная активность (наличие прямого солнечного излучения на разные части объекта), нагрузка осадков (снега), сейсмические толчки. Постоянные воздействия внешних факторов и эксплуатационных нагрузок приводят к постепенному износу сооружения, а при сверхнормативных нагрузках – и к преждевременному износу, необратимым деформациям и разрушению элементов конструкции. Для контроля и прогнозирования состояния конструктивных элементов и сооружений в целом с целью заблаговременного предупреждения о тенденциях изменений геометрических параметров сооружения в сторону развития неблагоприятной ситуации необходимо проводить периодические обследования конструкций с выполнением комплекса геодезических измерений его геометрических параметров, т.е. деформационный мониторинг.

Основными функциями системы деформационного мониторинга являются: измерение геометрических и физических величин, передача, обработка, накопление и предоставление информации обслуживающей организации сооружения.

Деформационный мониторинг может проводиться периодически или непрерывно. Периодический мониторинг – это комплекс обследований и измерений, выполняемый через определенный промежуток времени. Результатом выполнения периодического мониторинга являются файлы данных, имеющих определенную дискретность во времени. Непрерывный мониторинг предоставляет собой процесс сбор и обработки данных, который осуществляется постоянно действующей автоматизированной системой мониторинга.



Оползень, Тайван 2010 г.

Часто возникает необходимость организации обоих видов деформационного мониторинга уже в процессе строительства объектов. По завершению строительства и ввода объектов в эксплуатацию непрерывный мониторинг потенциально опасных объектов приобретает все большую значимость.

Разработанные и зарекомендовавшие себя в прошлом методы контроля деформаций «традиционными» геодезическими методами, безусловно, могут находить применение для решения определенных задач контроля стабильности объектов и сегодня. Но данные методы, даже в случае использования современных геодезических приборов с автоматической регистрацией и обработкой результатов измерений, являются достаточно трудоемкими и, в части обеспечения безопасности объектов инфраструктуры, неоперативными. При использовании любых «традиционных» технологий деформационного мониторинга геодезическими методами имеется временной разрыв между измерениями деформаций и получением результатов обработки. Кроме того, «традиционные» методы дискретны. По этой причине всегда существует вероятность возникновения аварийных ситуаций в тот момент, когда данные о деформациях и их анализ относительно допустимых величин отсутствуют. Может возникнуть ситуация появления критических для данного объекта деформаций, но очередной цикл наблюдений по установленному графику должен проводиться через неделю, две недели, месяц.

Указанные недостатки могут быть устранены применением автоматизированных систем деформационного мониторинга (АСДМ). Бесспорными преимуществами АСДМ перед традиционными методами деформационного мониторинга являются:

- выполнение измерений деформаций и постоянное сравнение с допустимыми (проектными) величинами в реальном времени;
- возможность осуществлять мониторинг объектов 24 часа в сутки, 7 дней в неделю и 365 дней в году с заданной дискретностью;
- обеспечение высокой точности и однородности измерений, исключение ошибок исполнителя измерений;
- управление АСДМ с удаленного места. Осуществляются автоматический сбор данных, предварительный анализ полученной информации и отправка ее в любое место через Интернет или другие каналы связи;
- АСДМ может быть построена таким образом, что при выявлении критических величин или опасных тенденций (ускорение) протекания деформационных процессов на объекте издается сигнал тревоги с автоматическим оповещением через каналы связи ответственных людей с целью оперативного принятия решений для предотвращения аварий и спасения людей.

Большое значение имеет комплексность АСДМ. Комплексные АСДМ включают в себя:

- современное измерительное оборудование, работающее автономно, т.е. без участия исполнителя

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

или оператора. Они предназначены для сбора параметров, которые передаются в центр мониторинга для обработки и анализа: геодезическое оборудование (спутниковое оборудование ГЛОНАСС/GPS, электронные тахеометры), различные виды датчиков пространственных перемещений, наклона, температуры, тензометры и т.п. (сенсоры);

- программное обеспечение для сбора и обработки результатов измерений;
- каналы коммуникации, предназначенные для удаленного управления измерительными приборами и датчиками, а также для передачи измеренных параметров в центр управления;
- средства визуализации результатов измерений в реальном времени;
- центр управления системой мониторинга, в состав которого входит сервер (компьютер) с установленным программным обеспечением, предназначенным для управления и контроля работой датчиков, сбора и обработки измерений, анализа. Кроме того, функции программы позволяют формировать сообщения и сигналы тревоги в случае превышения измеряемых параметров заданных критических значений.

Автоматизированная система деформационного мониторинга (АСДМ) позволяет выполнять непрерывные измерения деформаций (смещений) элементов конструкции объекта. Спутниковые (ГЛОНАСС/GPS) и цифровые геотехнические датчики для мониторинга помогают выявить деформации объектов, выходящих за пределы нормативного диапазона. При этом обеспечивается сантиметровой уровень точности при любых погодных и климатических условиях в режиме реального времени, используя соответствующую спецификацию и конфигурацию АСДМ. Принцип измерений позволяет определить пространственное положение любой точки объекта с одинаковой точностью и оперативностью.

Результаты измерений различных датчиков обеспечивают информацию об условиях эксплуатации объектов и их влиянии на геометрическую стабильность и устойчивость объектов. Таким образом, комплексные АСДМ позволяют выполнить анализ причин деформаций и моделировать прогноз поведения объектов в целом и отдельных их конструктивных элементов в частности.

Анализ данных, полученных АСДМ, позволяет увидеть тенденции к возможным предельно-допустимым изменениям конструкции сооружения, своевременно получить информацию и принять решение о необходимости изменения режима разработки месторождения, эксплуатации объекта или проведения текущего ремонта конструктивных элементов, подвергающихся опасным деформациям. Предупредительные меры позволят экономить средства, не прибегая к капитальной реконструкции объекта, которая становится необходимой в случае непредсказуемой деформации или разрушения.

В получении данных о деформационном со-

стоянии и «поведении» объектов должны быть заинтересованы как минимум три стороны: проектирующие организации, строительные предприятия и заказчик (или служба эксплуатации объекта). По причине такой заинтересованности создание и эксплуатация системы мониторинга должны быть предусмотрены на стадии составления проекта на строительство объекта. В таком случае уже в начальной стадии возведения объекта будет запроектирована система деформационного мониторинга, предусмотрены поставка и установка соответствующего оборудования и программного обеспечения, а также запланировано выделение необходимых финансовых средств.

Комплексный деформационный мониторинг должен осуществляться специальной службой или группой, в чьем ведении находятся объекты. При этом возможно привлечение специалистов субординационной организации, отвечающей за работу системы в целом и качество выдаваемого результата мониторинга ответственным лицам.

Как отмечено выше, АСДМ осуществляет непрерывный сбор, систематизацию, хранение, анализ, преобразование, отображение и распространение пространственно-координированных данных о контролируемых элементах сооружений. Такая система позволяет постоянно контролировать состояние объекта, обеспечивая безопасность условий его строительства и дальнейшей эксплуатации. Совокупность данных, полученных с помощью комплексных АСДМ, учитывая сейсмические и геологические данные, дает возможность корректно выполнить анализ причин деформаций и моделировать прогноз «поведения» объекта в целом и отдельных ее конструктивных элементов в отдельности.

Данные системы деформационного мониторинга становятся доступными по различным каналам связи и сети Интернет для удаленного анализа и контроля. АСДМ может управляться дистанционно, одновременно предоставляя информацию нескольким службам, ответственным и заинтересованным лицам. Современные средства коммуникации и цифровые технологии сбора данных позволяют объединять системы мониторинга, установленные на различных объектах, под управлением единого контрольного и диспетчерского центра. Обработанная в контрольных и диспетчерских центрах объектов информация, в свою очередь, может быть направлена в региональные центры мониторинга различного уровня.

Практическим примером реализации автоматизированной системы деформационного мониторинга может являться решение, базирующееся на аппаратно-программном комплексе GeoMos фирмы Leica Geosystems (Швейцария).

Управляющим ядром центра управления комплексной системой мониторинга объекта является сервер, на котором установлено специализированное программное обеспечение GeoMos. Оно позволяет объединить различные типы датчиков (приемники спутниковых сигналов ГЛОНАСС/GPS, высокоточные электронные тахеометры, инклинометры, геотектони-

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

ческие датчики и иные приборы) в единую систему под общим управлением программой GeoMos. Данные, поступившие от различных датчиков, могут быть представлены в цифровом или аналоговом формате, совместно анализированы. Таким образом, обеспечивается комплексность решения задачи по сбору оперативной информации о состоянии сооружения. Программный комплекс GeoMos также может представлять данные измерений и результаты анализа в графической форме. Результаты, отображенные в виде графиков, показывают тенденции подвижек через определенные периоды времени. В одном графике может быть отображена информация одновременно о нескольких точках наблюдений. Векторное представление данных дает возможность оценить смещения для определенных участков в пространстве, что позволяет оператору легко найти области максимальных смещений. Программное обеспечение для геодезического мониторинга GeoMos содержит два основных модуля Монитор и Анализатор. Первый работает в интерактивном режиме и предназначен для сбора информации, управления приборами и всем процессом; второй представляет собой

автономное приложение для анализа, визуализации и постобработки данных.

Программа GeoMos использует стандартные технологии для обмена информацией. Сообщение между компьютерами в системе мониторинга обеспечивается различными видами беспроводной (WiFi и др.) и кабельной связи (LAN). База данных на основе SQL является главным звеном программы Leica GeoMos, которая управляет всеми измерениями, а также поддерживает различные установки и конфигурации аппаратных и программных средств. В заключение следует подчеркнуть, что автоматизированные системы деформационного мониторинга нужно рассматривать как важную составную часть общей системы обеспечения безопасности строительства и эксплуатации объектов инфраструктуры горнодобывающей, нефтяной и газовой промышленности. Основной целью комплексного автоматизированного деформационного мониторинга является повышение надежности общей системы обеспечения безопасных условий строительства и эксплуатации объектов, предупреждение аварийных ситуаций, предотвращение аварий и человеческих жертв.

*Бернд Хиллер, Исполнительный директор ООО «Инжиниринговый центр ГФК»,
тел. 8 926 212-7026*