© А.М. Мухаметшин, М.В. Яковлев, Б.Б. Кузьменко, И.Б. Кузьменко, 2006

УДК 62-791.2

А.М. Мухаметшин, М.В. Яковлев, Б.Б. Кузьменко, И.Б. Кузьменко

ПРОБЛЕМА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ (ГИС) НА ОСНОВЕ НАКЛОНОМЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Семинар № 3

Из опыта разработки и эксплуатации автоматизированного контрольно-измерительного комплекса [1] нами, в числе главных выводов, сделано заключение о необходимости повышения достоверности метрологического обеспечения используемых первичных преобразователей. Это, в первую очередь, сейсмометрические и наклономерные при-боры, на основе которых и построена рассматриваемая геоинформационная система. Используемые сейсмометры (типа СМ-3) сомнений не вызывали, т.к. их метрологическая проверка выполнялась по известной и широко апробированной методике [2]. Причем, разделяя озабоченность авторов работы [3] об отставании России и стран СНГ от, например, США в плане масштабов наблюдений и массовости измерений в инженерной сейсмологии, мы утверждаем, что на начальной стадии создания локальной сети сейсмологического мониторинга вполне допустимо использование сейсмометров с погрешностью на уровне 1×10^{-7} м/с^2. Что же касается метрологического обеспечения используемых наклономеров (ИН-Д3), то нам пришлось провести ряд дополнительных исследований, результаты которых в данном сообщении приводятся ниже.

Автоматизированный контрольно-измерительный комплекс (АвКонИК) разработан для непрерывного во времени контроля состояния основных несущих (или опорных) элементов здания путем регистрации микросейсмических колебаний, путем контроля уровенной поверхности с помощью двухкоординатных наклономеров. Здесь следует иметь в виду, что получаемая информация характеризует искомые параметры, в т.ч. и состояние контролируемых элементов, косвенным образом [1].

На данном этапе разработки комплекс АвКонИК выполняет непрерывную во времени регистрацию 4 компонент на каждой из 3-х точек контроля, т.е. задействовано 12 каналов, хотя в данном комплекте аппаратуры могут быть реализованы одновременно до 32 каналов. В структурном отношении комплекс представлен на рис. 1 в виде блок-схемы. Здесь в качестве первичных преобразователей может быть использован любой геофизический прибор, например, сейсмоприемник с аналоговым выходом на высокоомную нагрузку. Могут быть и другие датчики, начиная от термодатчиков и до наклономеров с цифро-

Рис. 1. Структурная схема комплекса АвКонИК

вым выходом на низкоомную нагрузку. Для того чтобы обеспечить взаимно независимую регистрацию, т.е. исключить так называемый "аляйсингэффект", предусмотрен подключаемый через линии связи *2* многоканальный адаптер *3*, согласующий вход преобразователя информации *4* с различного рода выходами первичных преобразователей.

В качестве компьютеризированного регистратора может быть использована любая ПЭВМ с увеличенным объемом памяти. Это необходимо с целью увеличения времени регистрации, т.к. с условием непрерывности при значительном числе измерительных каналов объема памяти стандартных ЭВМ недостаточно. Следует отметить, что условия непрерывности во времени для различных датчиков также будет иметь различные значения времени дискретизации. В данном случае нами был принят период дискретизации параметров с частотой 50 Гц, что оказалось вполне достаточным для регистрации микросейсм, частоты у которых не превышают 15 Гц [1].

Все необходимые режимы подключения, работы, опроса, кодирования информации и т.п. параметры функционирования всего комплекса в целом регламентируются с помощью программного обеспечения, которое для разного рода первичных преобразователей должно быть соответствующим. Комплекс обеспечивает непрерывное отображение на экране компьютера данных измерения по всем регистрируемым каналам.

Таким образом, созданный комплекс можно считать одним из образцов стандартной геоинформационной системы, работающей в режиме непрерывного мониторинга.

Для обеспечения функционирования и испытания разработанной геоинформационной системы – комплекса АвКонИК авторами обоснована следующая расстановка первичных преобразователей.

Наиболее подвижными и адекватно реагирующими на динамические воздействия несущими элементами здания (как было нами установлено в работах 1997-1999 [4]) являются консольные балки Б-2 и Б′-2, консольные

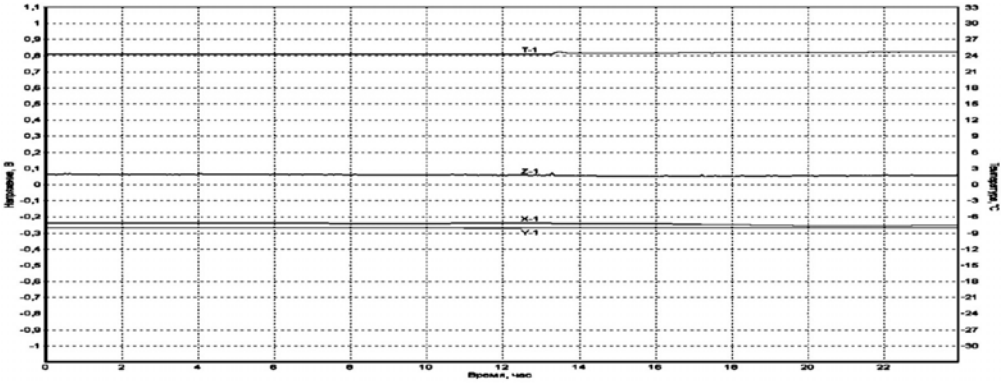

Рис. 2. Результаты измерений в точке № 1 за 28 июня 2004 г.

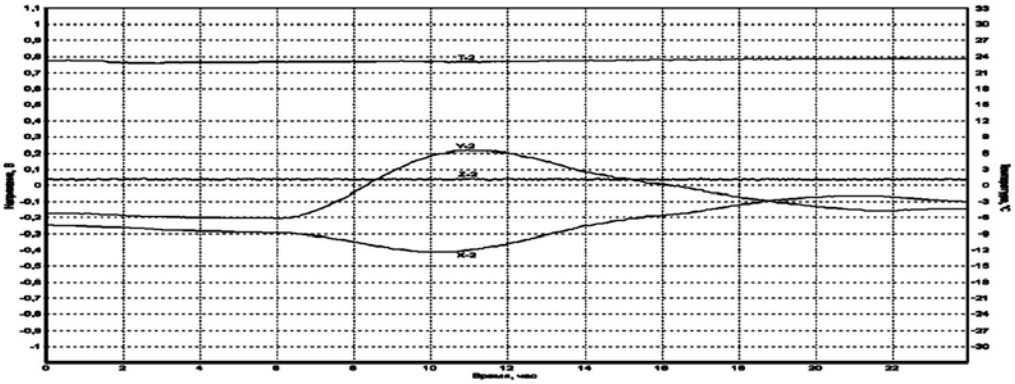

Рис. 3. Результаты измерений в точке № 2 за 28 июня 2004 г.

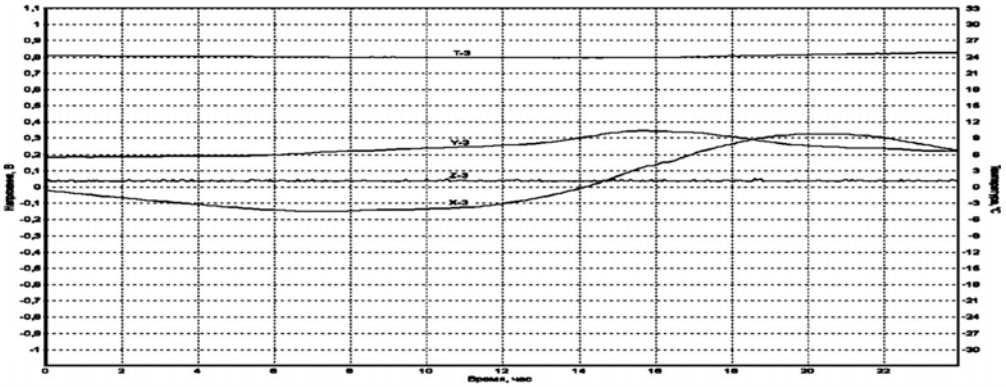

Рис. 4. Результаты измерений в точке № 3 за 28 июня 2004 г.

концы которых работали наподобие маятника Голицина в его классическом варианте. Поэтому на обеих балках были установлены по одному комплекту первичных преобразователей. При этом ожидалось, что каждая из этих групп характеризует часть горного массива значительным образом отличающуюся от другой и как оказалось в результате, ожидания наши оправдались, т.к. вы-

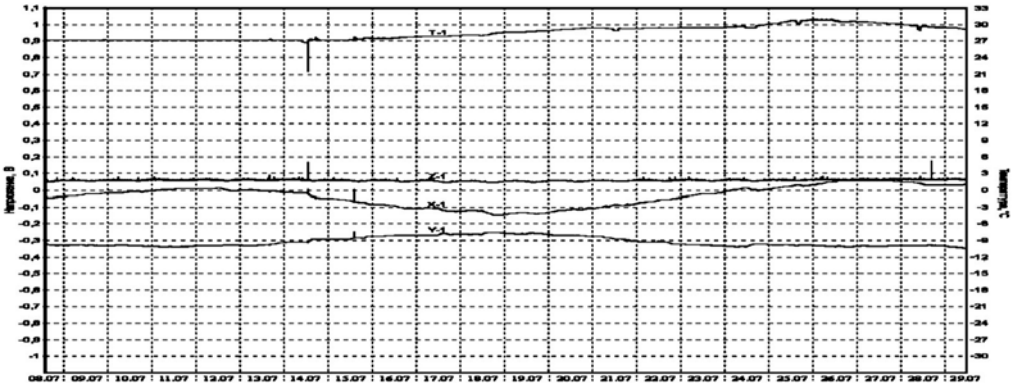

Рис. 5. Результаты измерений в точке № 1 в период с 08 июля по 29 июля 2004 г.

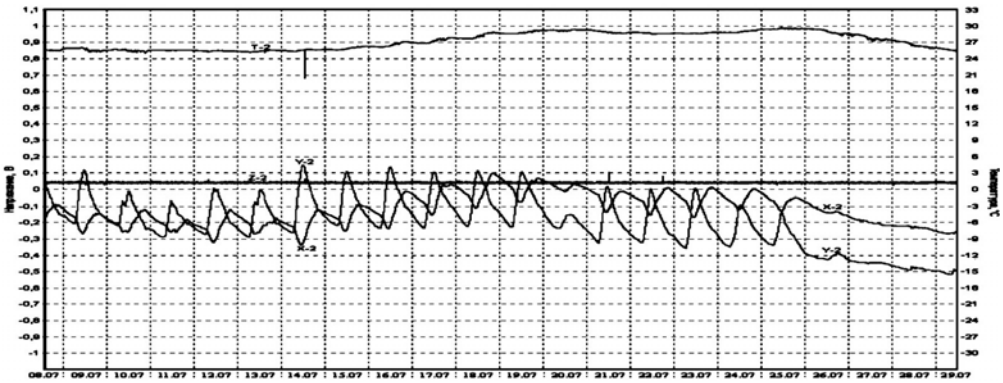

Рис. 6. Результаты измерений в точке № 2 в период с 08 июля по 29 июля 2004 г.

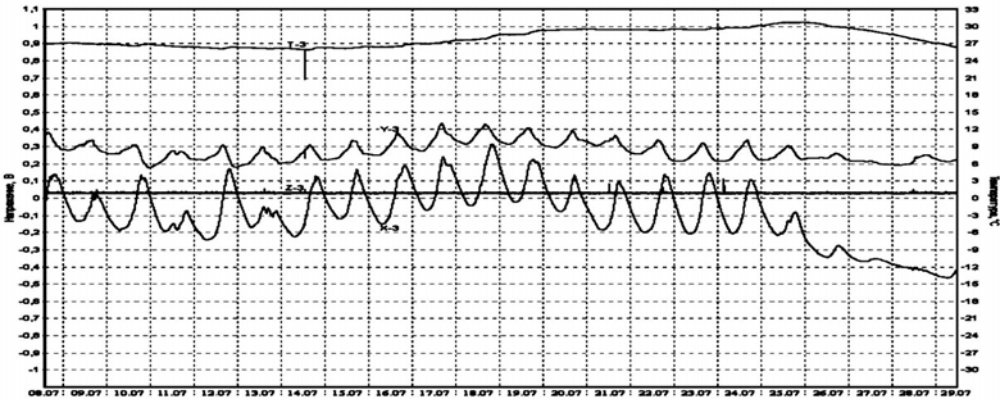

Рис. 7. Результаты измерений в точке № 3 в период с 08 июля по 29 июля 2004 г.

бранные две точки контроля характеризуют
действительно разные части конструкции здания в наибольшей степени, реагирующие на изменения в окружающей среде, в т.ч., например, на изменения температуры воздуха, на время суток и связанные с этим лунно-солнечные приливные волны и т.д.

Естественно, что для сравнения, наряду с наиболее подвижными, динамическими элементами здания была необходима наименее подвижная точка для контрольных измерений. В таком качестве изначально была выбрана изолированная от несанкционированного доступа точка между опорными колоннами 1р и 2р по оси 4к. Здесь были начаты наблюдения в первую очередь еще в апреле 2004 года. Вначале установлены были два прибора: сейсмограф типа СМ-3 для регистрации вертикальной компоненты микросейсм и двухкоординатный наклономер ИН-Д3. После того, как мы убедились, что выбранная точка (1) отвечает поставленной задаче были установлены аналогичные преобразователи на консольных балках, вначале на балке Б′-2 (точка 2), а затем и на балке Б-2 (точка 3).

Таким образом, расстановка преобразователей была закончена к 27 мая 2004г. Далее работы продолжались уже в части комплексирования по числу первичных преобразователей и по ориентации наклономеров.

Ниже приводятся несколько диаграмм – результаты регистрации контролируемых параметров одновременно на всех трех точках в течение суток с 0^{00} до 24^{00} часов.

Поскольку кратковременные колебания элементов конструкции нельзя непосредственно отобразить на интегральных (суточных, недельных, месячных) графиках, для каналов, регистрирующих эти колебания, вместо простого усреднения N отсчетов (в нашем случае N = 10000 отчетов – вместо 50 Гц частота опроса снижается при усреднении до 0,005 Гц), применяется поиск минимального и максимального значения для этих N отсчетов и их разность откладывается по оси ординат. Это позволяет фиксировать микросейсмы на интегральных графиках, а затем детально анализировать интересующий нас временной промежуток.

На рис. 2, 3 и 4 приведены данные измерения вертикальной компоненты Z (соответственно Z_1, Z_2 и Z_3) и каждая из двух компонент наклономера X и Y (соответственно X_1 и Y_1, X_2 и Y_2, а на первой точке X_3 и Y_3) в течение суток за 28 июня 2004г. Здесь следует отметить следующие особенности:

- уровень микросейсм (общий "шумовой" фон) оказался, как и следовало ожидать, наименьшим в точке измерения 1, наибольшим – на консольной балке Б′-2 и промежуточным на балке Б-2;
- сейсмический импульс неизвестного происхождения, отмеченный всеми тремя сейсмоприемниками на всех трех точках, на точке *2* имеет наибольшую амплитуду, в точке *3* – несколько меньше, а в точке *1* – отмечается наоборот минимумом между двумя импульсами;
- изменения наклонов металлического контура усиления (или укрепления) консольных балок можно увязывать с изменением температуры окружающего воздуха, поэтому с 17 июня на каждой точке контролируется и регистрируется параллельно значение температуры окружающего воздуха;
- изменения наклонов в точке 1 минимальны, а в точках *2* и *3* составили от 15 до 40 угловых секунд.

На рис. 5, 6 и 7 иллюстрируются изменения контролируемых параметров в течении более чем двадцати суток. Здесь хорошо выделяются, кроме уже отмеченных выше особенностей, дополнительно следующие характеристики:

- среднесуточные температуры выросли на 4 градуса Цельсия;
- наклономерами, кроме суточных колебаний, которые могут быть связаны с лунно-солнечными приливными волнами, регистрируются и более длинно-

периодные, с частотами от $7{,}7\times10^{-7}$ Гц и ниже.

Полученные данные, дополненные результатами заводских испытаний, были положены в основу материалов, предъявленных для оформления сертификата к разработанному наклономеру. В настоящее время в комплексе АвКонИК используются только сертифицированные приборы.

Предварительный анализ полученных материалов регистрации изменений наклонов в двух координатах, микросейсмических колебаний по вертикальной компоненте и температуры окружающего преобразователи воздуха позволяют заключить следующее:

1. Разработанный автоматизированный контрольно-измерительный комплекс (АвКонИК) отвечает своему назначению и может служить в качестве геоинформационной системы контроля состояния элементов конст-рукции.

2. Структурная схема комплекса является достаточно гибкой как в смысле включения самых различных по физической природе первичных преобразователей, так и в смысле возможностей их компоновки по числу, согласующим элементам, частоте опроса и т.д.

3. Доказано, что разработанный комплекс позволяет на достаточно чувствительном уровне контролировать микросейсмические (до единиц микрон) колебания, изменения наклонов наиболее ответственных несущих элементов здания в непрерывном по времени режиме, благодаря чему эти данные следует учитывать при выработке прогнозных оценок состояния контролируемых конструкций.

4. На основе уже полученных данных однозначно дифференцируются не только состояния самих конструкций, но и в комплексе с другими данными возможна косвенная характеристика оснований, фундаментов или же инженерно-геологических особенностей горного массива под этими элементами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мухаметшин А.М., Яковлев М.В., Яковлев А.М., Кузьменко Б.Б., Кузьменко И.Б.* Автоматизированный комплекс как геоинформационная система // Тез. докл. на Междунар. науч.-практ. конф. Инженерная геофизика, г. Геленджик / 27.03 – 02.04.2005 / с. 174-176.
2. *Гурвич И.И.* Сейсмическая разведка. - М.: Недра, 1970.
3. *Витушкин Л.Ф., Кривцов Е.П., Синельников А.Е.* Развитие метрологии и предельные возможности геофизических измерений // Проблемы геофизики XXI века. Кн.2 / Отв. ред. А.В. Николаев. – М.: Наука, 2003 – с. 245-265.
4. *Отчет* о НИР: Обследование и оценка состояния основных несущих элементов здания Екатеринбургского государственного цирка / Научн. рук. А.М. Мухаметшин. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2005 – 87 с. Прилож. 8.

Коротко об авторах

Мухаметшин Анатолий Матвеевич – доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией горной геофизики ИГД УрО РАН,

Яковлев Михаил Викторович – старший научный сотрудник, ИГД УрО РАН,

Кузьменко Борис Борисович – доктор химических наук, генеральный директор НТП "Горизонт",

Кузьменко Илья Борисович – студент МВТУ им. Баумана.