

НАКЛОНОМЕРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ГОРОДЕ

А.И. Гончаров, Б.Г. Горюнов, Н.В. Кабыченко

При испытаниях инклинометров NA2-05 на постаменте ИДГ РАН проверялись характеристики наклономеров, а так же проведена длительная регистрация наклонов фундамента ИДГ. Полученные данные показали, что наклоны по азимуту Запад-Восток в два-три раза больше наклонов по азимуту Юг-Север. Объясняется это, по всей видимости, движением транспорта на Ленинском проспекте, находящимся к востоку от точки наклономерных измерений.

Введение

В 2008–2009 годах на бетонном постаменте в подвале здания ИДГ был установлен наклономерный комплекс, состоящий из датчиков угла наклона (инклинометров) типа NA2-05 компании «Seika» (Германия) (рис. 1) с аналоговым выходом и регистратора. Датчики с помощью винтов закреплены на боковых гранях прямоугольного параллелепипеда. Активная ось одного датчика направлена по азимуту Юг-Север (S-N), а другого на ортогональной боковой грани параллелепипеда по азимуту Запад-Восток (W-E). Параллелепипед устанавливался на бетонном поста-

менте в подвале Института. Аналоговый сигнал датчиков подключался на входы платы АЦП Е-440. Массив оцифрованных данных записывался в памяти портативного компьютера (Note-Book). Питание инклинометров осуществлялось от источника постоянного напряжения 5 В, в качестве которого в настоящей работе использовался блок стабилизированного питания типа БПС5-0,35, 5 В, 0,35 А.

Датчик инклинометр NA2-05 представляет собой диэлектрический жидкостной инклинометр, обладает высокими: стабильностью, чувствительностью, а также линейностью, что позволяет отнести эти датчики к прецизионным. Они могут работать в широком диапазоне температур. Высокие характеристики датчиков обеспечиваются электронной начинкой, входящей в их состав.

Индивидуальные характеристики датчиков измерялись в специальных экспериментах с применением квадранта оптического КО-60, предназначенного для измерения углов наклона с точностью 1 угловая минута (рис. 2). Оптический квадрант ставился на параллелепипед с укрепленными на нем датчиками. Подкладывая тонкие металлические пластины у торцов параллелепипеда, принудительно изменялся угол наклона параллелепипеда в разных направлениях. С помощью квадранта КО-60 фиксировались изменения углов наклона вдоль активных осей инклинометров, и полученные значения сопоставлялись с напряжением на выходе датчиков. Из полученных данных определялась чувствительность и линейность характеристики датчиков. Чувствительность инклинометров составляет 400 мВ/°. Технические характеристики инклинометров представлены в табл. 1.



Рис. 1. Общий вид инклинометра NA2-05

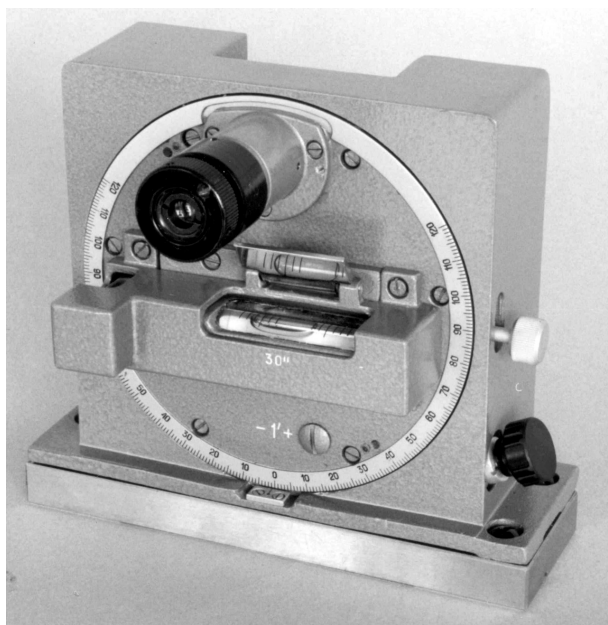


Рис. 2. Общий вид квадранта оптического КО-60

Технические характеристики инклинометров NA2-05

Характеристики	Значения величин
Измеряемые пределы	$\pm 5^\circ$
Разрешение	$< 0,001^\circ$
Номинальная чувствительность	400 мВ/°
Напряжение питания	5 в
Предел выходного напряжения	2,5 В $\pm$ 2 В при $\pm 5^\circ$
Линейная девиация во всем измеряемом пределе	$< 0,02 ^\circ$
Изменения чувствительности при температуре -25 °С...+85 °С	$< 2\%$
Температурный дрейф нулевой точки	$\pm 0,002^\circ/\text{K}$
Ток потребления	$\sim 2 \text{ mA}$
Сопротивление выхода	100 Ω
Отношение сигнал-шум к выходному сигналу (0...10 kHz)	$< 150 \mu\text{Vss}$
Отношение электрический сигнал-шум	$> 85 \text{ dB}$
Поперечная чувствительность при угле наклона 45°	$< 1\%$ измеряемого размера
Предел максимального выходного напряжения	0,05 В...4,95 В
Время стабилизации (98% от фактического размера)	$< 0,3 \text{ s}$
Вес (датчик с монтажным кольцом и кабелем)	18,5 g
Максимум эксплуатационной температуры	+85°
Минимум эксплуатационной температуры	-40°
Влажность окружающей среды	0...100% г.Ф.

В табл. 2 представлены основные параметры аналого-цифрового преобразователя (АЦП) E-440 фирмы Lcard, используемой в данной работе для преобразования аналогового напряжения в цифровой код, который затем регистрируется в компьютере. АЦП E-440 выполнен в виде отдельного блока, соединяемого с компьютером через порт USB.

Таблица 2

Технические характеристики платы АЦП E-440

Характеристики	Значения величин
Максимальная частота преобразования (на канал)	400 кГц
Количество каналов регистрации	16
Разрядность	14 Бит
Время преобразования	2,5 мкс
Диапазон входного сигнала	$\pm 10 \text{ В}; \pm 2,5 \text{ В}; \pm 0,625 \text{ В}$

Результаты и обработка наклономерных измерений

Регистрация наклонов бетонного постаменты ИДГ велась с 22.12.2008 по 11.03.2009 гг. Обработка полученных измерений производилась при помощи пакетов программ Excel-2000 и Mathcad версии 14 [Кириянов, 2007]. Задача обработки зарегистрированных данных состояла в получении длительной непрерыв-

ной записи наклонов фундамента, из которой можно определить спектральные характеристики в низкочастотной области, сравнимой по временным характеристикам с длительностью сезона. Однако эта непрерывная запись должна занимать ограниченный объем памяти, иначе расчет спектра займет много времени и потребует больших ресурсов от компьютера. Первые опыты измерения проводились с частотой оцифровки 100 Гц, чтобы определить верхнюю частотную границу сигналов. Далее частота оцифровки была 10 Гц, а поток данных записывался в файлах, вмещающих объем информации, получаемый в течение 10 минут. Для создания единой записи за весь период наблюдения данные прореживаются: в единый файл берется одна точка из 100, а для предотвращения эффекта Найквиста сигналы наклономеров, записанные в исходных файлах, очищаются от высокочастотной помехи с помощью фильтра низких частот (ФНЧ) с верхней граничной частотой фильтрации 0,007 Гц.

На рис. 3 приведены регистрограммы наклонов постаментов во взаимно перпендикулярных направлениях. Величина наклонов по азимуту Запад-Восток в два-три раза больше чем по азимуту Юг-Север. Объясняется это, по всей видимости, движением транспорта на Ленинском проспекте, ближайшая точка которого находится в восточном направлении от постаментов. Это также видно на рис. 4, где представлены амплитудные спектры регистрограмм наклонов, показанных на рис. 3.

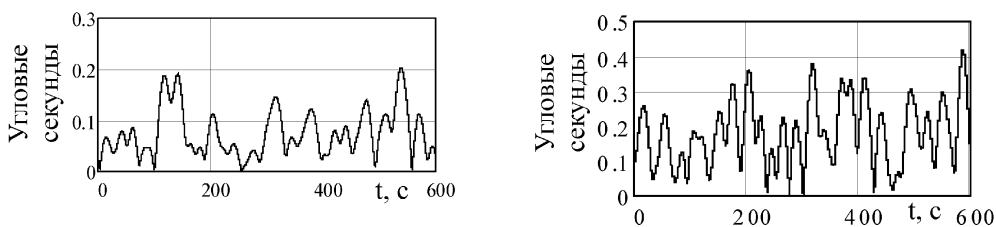


Рис. 3. Профильтрованные регистрограммы наклонов по азимуту S-N (слева) и по азимуту W-E (справа), полученные 2.03.2009 (начало в 12:40)

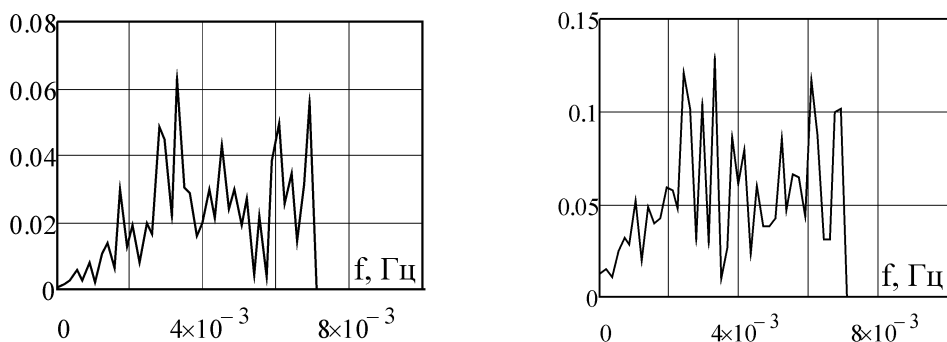


Рис. 4. Амплитудный спектр наклонов по азимуту S-N (слева) и по азимуту W-E (справа)

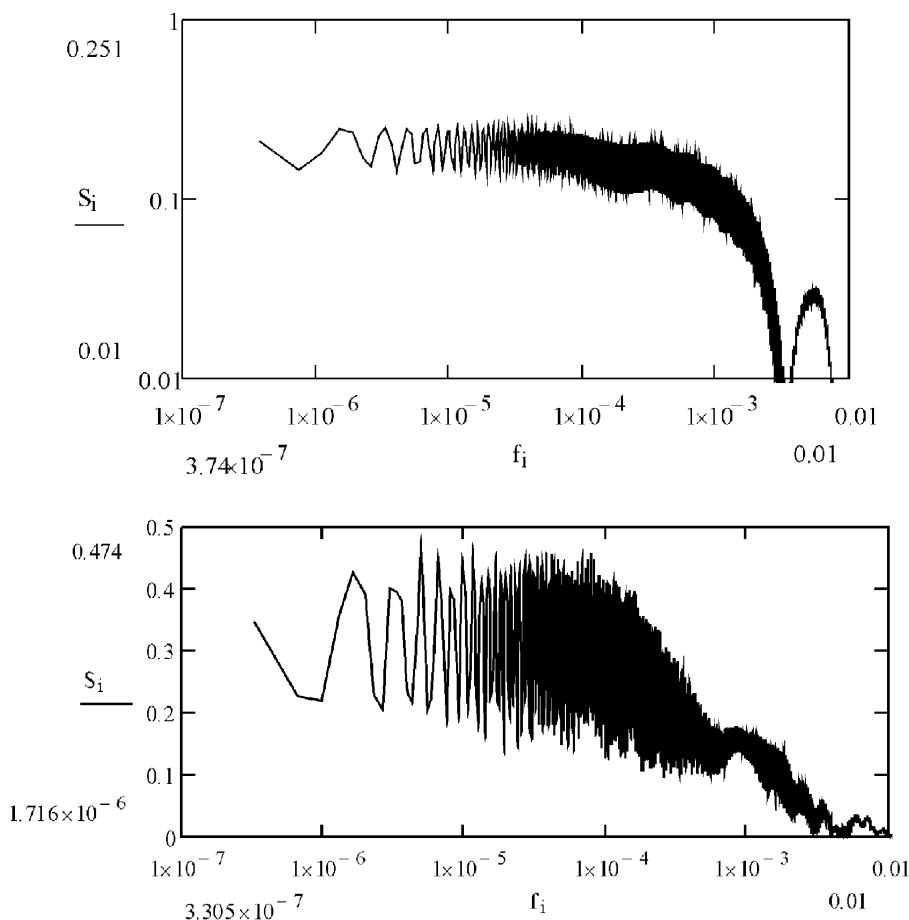


Рис. 5. Амплитудный спектр наклонов по азимуту S-N (вверху) и по азимуту W-E (внизу) за период с 08.02.2009 по 10.03.2009

Файлы данных, пример которых приведен на рис. 3, прореживались в 100 раз. Прореженные файлы объединялись в единый файл. Единый непрерывный файл удалось получить для периода с 08.02.2009 по 10.03.2009. По данным единого файла вычислены амплитудные спектры, представленные на рис. 5.

Рассмотрим изучаемые нами наклоны постамента как отклик подверженной энергетическому воздействию извне среды, на поверхности которой находится постамент. В результате воздействия среда постоянно флуктуирует. Флуктуация параметра среды может быть описана функцией [Ландау, Лифшиц 1978]:

$$x = \bar{x} = h e^{-\frac{t}{\tau}},$$

где h – величина флуктуации, τ – время ее релаксации, $\bar{x}$ – среднее значение параметра. Модуль спектра этой функции описывается соотношением:

$$S(\omega) = h / \sqrt{(1/\tau^2) + \omega^2}.$$

Далее все зависит от соотношения времени релаксации и рассматриваемого частотного диапазона. Если время релаксации настолько мало, что $(1/\tau^2) \gg \omega^2$, то $S(\omega) = h\tau = \text{const}$. Данное соотношение является белым шумом. Белый шум наблюдается на спектрах, представленных на рис. 5.

В рамках частотного диапазона, указанного на рис. 5, происходят приливные наклоны земной коры. На рис. 6 представлены расчетные значения приливных наклонов земной коры в точке наших измерений. Максимальные значения приливных наклонов менее сотых долей угловых секунд, что во много раз меньше уровня белого шума. Температура в подвале Института стабильна, ее изменения носят сезонный характер, но и они не проявились в полученных спектрах.

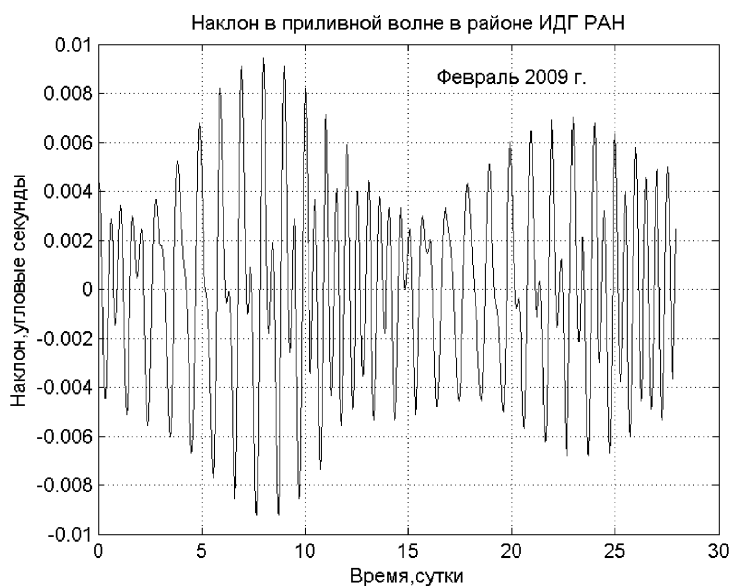


Рис. 6. Приливные наклоны фундамента ИДГ РАН (расчет)

Выводы

Проведенные наклономерные измерения показали, что в течение месяца наклоны фундамента являются результатом техногенного воздействия транспортного потока со стороны Ленинского проспекта.

Литература

- Кирьянов Д. В. Mathcad 14. СПб.: БХВ-Петербург, 2007.
 Ландау Л. Д. и Лифшиц Е. М. Теоретическая физика т. 5. Статистическая физика. «Наука», М.: 1978, с 363.