

ОТ ВОДЯНОГО УРОВНЯ ДО ВЫСОКОТОЧНОГО ИНКЛИНОМЕТРА

А.И. Яценко

Сооружения древних египтян и сегодня поражают своей величественностью монументальностью стройностью форм и размеров. Основным средством геодезического обеспечения строительства в то далекое время была вода. Простота и гениальность ее применения при выравнивании основания фундамента будущего сооружения заключалась в следующей операции. Котлован заполнялся водой а затем проводились измерения расстояния от дна котлована до поверхности воды т. е. сравнивалось положение поверхности котлована с горизонтальной поверхностью воды. Это позволяло выравнивать основание на значительной территории с точностью в несколько сантиметров. Для измерений выбирались безветренные периоды времени. Остается только завидовать терпению и настойчивости древних «геодезистов». Хотя, что значат несколько дней по сравнению с вечностью.. Чтобы не зависеть от погодных условий и использовать меньшее количество жидкости, ее залили в стеклянную ампулу и герметично закрыли (запаяли). Так была создана пузырьковая камера, которая до настоящего времени является идеальным средством задания горизонтальной поверхности не только в строительных уровнях, но и практически во всех современных геодезических средствах измерения (нивелирах, теодолитах, электронных тахеометрах, наземных лазерных сканерах и т. д.). Постоянное увеличение точности геодезических измерений с одновременным снижением их трудоемкости потребовало поиска новых технических решений, которые могли бы заменить традиционные маятниковые компенсаторы, обеспечивавшие коррекцию наклона прибора, в небольшом, но определенном диапазоне (несколько сотен угловых секунд).

Проведенные компанией Leica Geosystems (Швейцария) научные исследования позволили разработать и создать для массового производства принципиально новый компенсатор, основанный на применении жидкостного уровня (рис. 1). Использование в тахеометре цифровой внутренней шины дало возможность подключить к ней кроме многих других устройств надежный высокоточный узел для компенсации наклона тахеометра. Постоянные наблюдения за состоянием сложных инженерных сооружений потребовали внедрения в практику использование автоматизированных систем деформационного мониторинга, позволяющих дистанционно измерять различные физические величины, в том числе определяемые геодезическими методами.

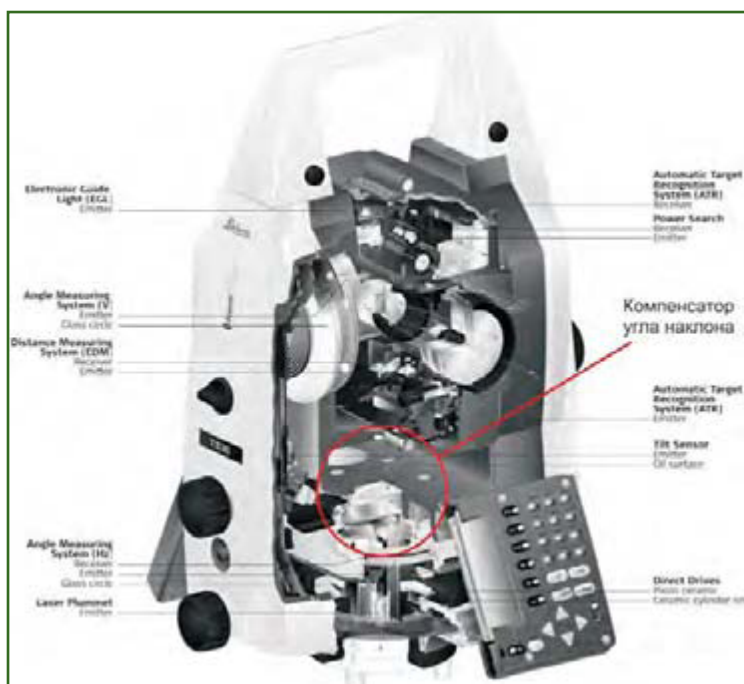


Рис. 1

Расположение компенсатора угла наклона в электронном тахеометре фирмы Leica Geosystems

Одним из таких измеряемых параметров является угол наклона исследуемого объекта от вертикальной (горизонтальной) плоскости. Развитие микроэлектроники дистанционных средств передачи и обработки результатов измерений, получаемых в цифровом виде, позволили в 1995 г. создать и выпустить пробную серию высокоточных цифровых инклинометров Leica 20. Измеренные с их помощью величины углов наклона передавались по цифровой шине RS232 в компьютер, где накапливались обрабатывались и визуализировались на экране. Инклинометры были опробованы при наблюдениях за наклоном различных строительных конструкций: стен, зданий, колонн, фундаментов и т. п. Дальнейшие исследования позволили значительно улучшить конструкцию и в 2005 г. начать серийный выпуск инклинометров Leica серии NIVEL 200. Официальное название этого средства измерения в Государственном реестре средств измерений Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии РФ зарегистрировано так: «Устройство двухкоординатное для измерения угловых перемещений, предназначенное для измерения величины угловых перемещений и определения их направлений по двум взаимно перпендикулярным осям».

Область применения инклинометров Leica NIVEL 200 — постоянные наблюдения за пространственным положением зданий, инженерных сооружений и конструкций, таких как мосты, плотины, высотные дома и др., с целью определения деформаций их элементов. Рассмотрим принцип работы инклинометра Leica NIVEL 200 более подробно (рис. 2). Датчиком угла наклона данного устройства является капсула с жидкостью — жидкостный уровень (f). Поскольку поверхность жидкости в ампуле остается в горизонтальном положении независимо от наклона уровня, то величина угла наклона устройства однозначно определяется по углу между поверхностью жидкости и основанием уровня. Измерение угла наклона происходит следующим образом. Световой поток, излучаемый полупроводниковым диодным лазером (g), проходя через отклоняющую призму (с), фокусирующую систему линз (d) и проецирующую призму (e), попадает в капсулу с жидкостью. Отражаясь от поверхности капсулы с жидкостью, световой поток через фокусирующую оптическую систему попадает на ПЗС-матрицу, с помощью которой угловые перемещения регистрируются и преобразуются в цифровой выходной сигнал.

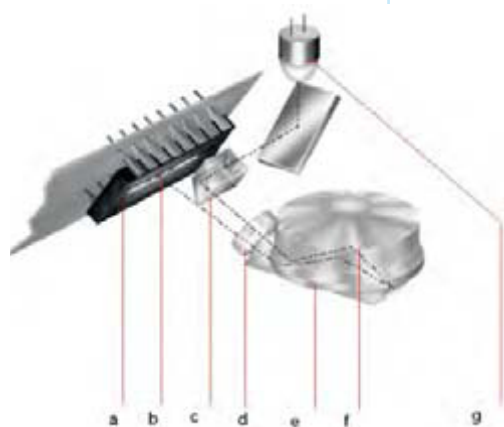


Рис. 2
Принцип работы инклинометра Leica NIVEL 200

Основные характеристики инклинометров Leica серии NIVEL 200

Таблица 1

Наименование параметра	Значение параметра			
	Nivel 210/220		Nivel 230	
	Миллирадиан	Угловые секунды	Миллирадиан	Угловые секунды
Диапазон измерения угловых перемещений				
A	±1,51	±300		
B	±1,52	±500	±1,1	±226
C	±3,00	±600		
Предельно допустимая абсолютная погрешность единичного измерения угловых перемещений по диапазонам				
A	±0,0047	±1		
B	±0,0141	±3	0,001	0,206
C	±0,047	±10		
Электропитание от блока питания постоянного тока		12±25%		
		0,6		
Рабочий диапазон температур, °C		от -20 до +50		
Габаритные размеры (Д x Ш x В), мм		95x91x68		
Масса, кг		0,74		

Соотношения различных угловых величин

Таблица 2

	Сантисекунда (сс)	Угловая секунда (")	Миллирадиан (mrad)	Микрорадиан (μrad)
Сантисекунда (сс)	1	0,324	1,570796 E-3	1,570796
Угловая секунда (")	3,08641975	1	4,848136 E-3	4,848136
Миллирадиан (mrad)	636,61977	206,2648062	1	1000
Микрорадиан (μrad)	0,63661977	0,206264806	0,001	1

Полученная информация может поступать на устройство регистрации или персональный компьютер через специальный разъем, обрабатываться, отображаться на экране компьютера в графическом виде и записываться в файл. Кроме того, инклинометр измеряет температуру окружающей среды в виде цифрового кода в месте его установки.

Модельный ряд инклинометров Leica серии NIVEL 200 представлен моделями NIVEL 210, NIVEL 220 и NIVEL 230 (табл. 1). Модель NIVEL 210 обменивается с внешними устройствами через порт, работающий по протоколу RS232, NIVEL 220 - RS485 и допускает включение в измерительную «цепочку» до 32 устройств. Модель NIVEL 230 используется в промышленных измерительных системах и характеризуется более высокой точностью измерений.

Инклинометр Leica серии NIVEL 200 представляют собой моноблочный датчик, подключаемый через разъем к источнику постоянного тока в 12 В. Через аналогичный разъем измеренные параметры поступают на регистрирующее устройство. На корпусе размещен 8-ми секундный круглый уровень, необходимый для предварительной установки инклинометра в горизонтальное положение. Внутри корпуса расположены: модуль электронно-оптической системы, плата микропроцессора и плата каналов связи с разъемами. Внутреннее программное обеспечение микропроцессора осуществляет управление режимами работы инклинометра, среди которых присвоение собственного имени, выбор скорости приема-передачи данных, задание первоначального смещения. В инклинометре предусмотрен режим усреднения многократных измерений от 2 до 128. В этом случае средняя квадратическая погрешность (СКП) усредненного значения уклона ($\sigma_{X_{ср}}$) будет меньше СКП единичного измерения (σ_X) на корень квадратный из количества (n) усредненных измерений. Так, например, при $n = 128$ и $\sigma_X = 0,033 \text{ mrad}$ будем иметь $\sigma_{X_{ср}} = \sigma_X / n^{1/2} = 0,003 \text{ mrad}$. При этом следует учитывать, что средняя квадратическая погрешность не может быть меньше максимальной чувствительности инклинометра, которая составляет $0,001 \text{ mrad}$.

Для обеспечения надежности измерений инклинометры располагаются на жесткой платформе или специальном креплении, устанавливаемом в точке наблюдений. Штатное крепление прибора снабжено тремя юстировочными винтами, позволяющими при его монтаже быстро и точно привести прибор в рабочее (горизонтальное) положение по круглому уровню. Использовать штатное или подобное крепление особенно важно, поскольку оно не только значительно экономит время при монтаже, но и обеспечивает достоверность измеряемых углов наклона.

Инклинометры Leica серии NIVEL 200 измеряют угол наклона в миллирадианах (mrad), а температуру в градусах по Цельсию (с точностью 0,10С). Несомненное удобство использования единиц измерения в радианах представляется в том, что угловая величина в 1 mrad соответствует наклону поверхности в 1 мм на 1 м.

В Российской Федерации и странах СНГ традиционно сложилась система измерений угловых величин в градусах, минутах, секундах. В силу различных технических задач, а также в связи с частым использованием специалистами зарубежных программных средств возникает необходимость представления информации о наклоне в радианах (rad), миллирадианах (mrad), микрорадианах (μrad) и сантисекундах (сс).

Для удобства перевода из одних единиц измерения в другие можно использовать параметры перехода, приведенные в табл. 2. Открытое программное обеспечение и простые команды управления инклинометров серии Leica NIVEL 200 позволяет создавать собственные программные модули, ориентированные на решение конкретных задач.

RESUME