

ОТ ВОДЯНОГО УРОВНЯ ДО ВЫСОКОТОЧНОГО ИНКЛИНОМЕТРА

А.И. Яценко («Фирма Г.Ф.К.»)

В 1985 г. окончил Московский авиационный институт (МАИ) по специальности «конструирование вычислительных бортовых систем». После окончания института служил в ВС СССР. С 1987 г. работал на авиапредприятии, с 1996 г. — в компании «Трансаэро», с 2001 г. — в области строительного бизнеса. В 2002 г. окончил факультет экономики и маркетинга ТУ (МАИ) по специальности «организация и управление производством». С 2007 г. — ведущий специалист по системам мониторинга в региональном офисе Leica Geosystems. С 2009 г. по настоящее время — ведущий эксперт по системам мониторинга ООО «Фирма Г.Ф.К.».

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, задающим горизонтальную поверхность, 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 инженер-

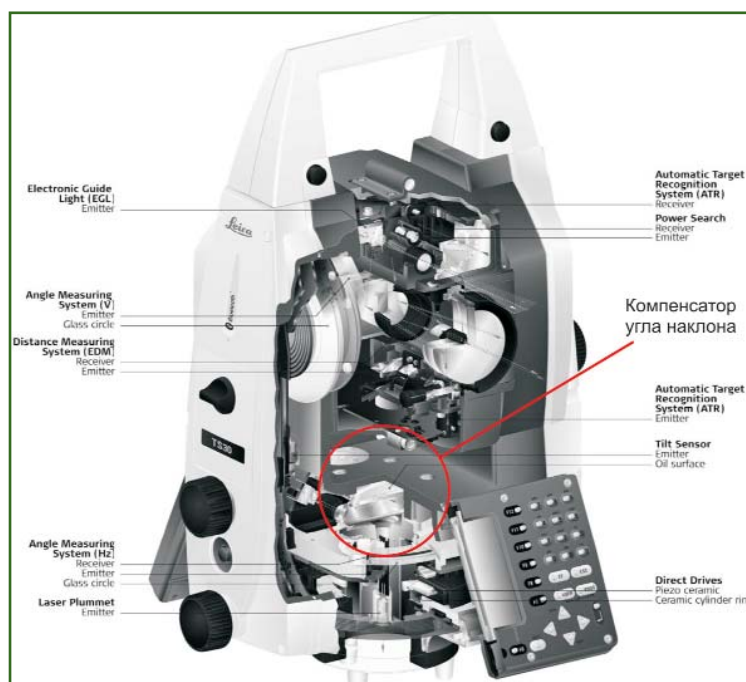


Рис. 1

Расположение компенсатора угла наклона в электронном тахеометре фирмы Leica Geosystems

ных сооружений потребовали внедрения в практику автоматизированных систем деформационного мониторинга, позволяющих дистанционно измерять различные физические величины, в том числе определяемые геодезическими методами. 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 наблюдении за наклоном различных строительных конструкций: стен зданий, колонн, фундаментов и т. п.

Дальнейшие исследования позволили значительно улучшить конструкцию и в 2005 г. на-

чать 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 кап-

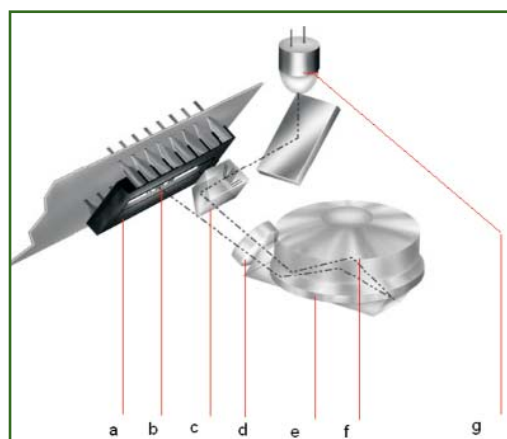


Рис. 2
Принцип работы инклинометра Leica NIVEL 200

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	±2,51	±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, В	12±25%			
Потребляемая мощность, Вт	0,6			
Рабочий диапазон температур, °С	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

сулы и жидкости, световой поток через фокусирующую оптическую систему попадает на ПЗС-матрицу, с помощью которой угловые перемещения регистрируются и преобразуются в цифровой выходной сигнал. 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 месте его установки и передает ее в виде цифрового кода.

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 представляет собой моноблочный датчик, подключаемый через разъем к источнику постоянного тока 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 ($\sigma_{\text{ср}}$) будет меньше СКП единичного измерения (σ) на корень квадратный из количества (n) усредненных измерений. Так, например, при $n = 128$ и $\sigma = 0,033$ mrad будем иметь $\sigma_{\text{ср}} = \sigma/n^{1/2} = 0,003$ mrad.

При этом следует учитывать, что средняя квадратическая погрешность не может быть меньше максимальной чувствительности инклинометра, которая составляет 0,001 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 0,1°C). 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

An operation principle of an electronic liquid level, developed by the Leica Geosystems is described. It is used as a compensator for an inclination angle in the both electronic tachometers and digital inclinometers. Technical characteristics together with the capabilities of the Leica inclinometers of the series NIVEL 200 are given.