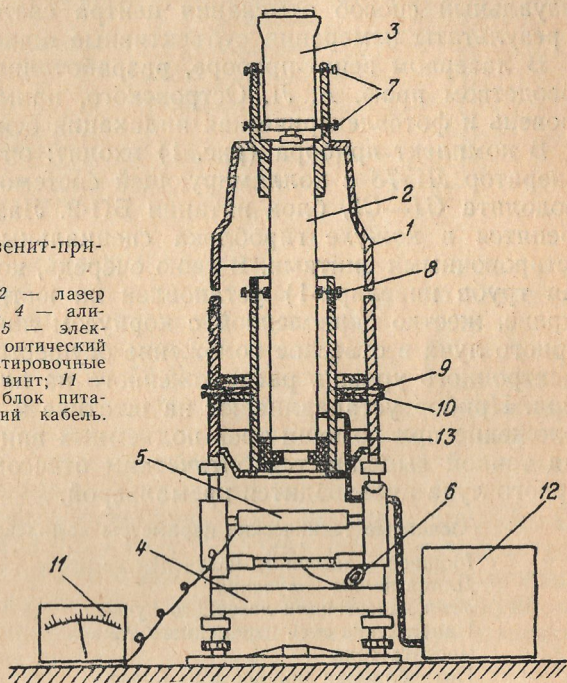


УСТАНОВКА ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ВЕРТИКАЛЬНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

При строительстве высотных зданий и сооружений башенного типа перед геодезистами стоит задача обеспечения вертикальности их геометрических осей. В настоящее время известны различные способы геодезического контроля установки таких

Рис. 1. Лазерный зенит-прибор:

1 — корпус прибора; 2 — лазер ЛГ-78; 3 — коллиматор; 4 — алидадная часть Gi-C2; 5 — электронный уровень; 6 — оптический отвес; 7, 8, 9 — юстировочные винты; 10 — стопорный винт; 11 — микроамперметр; 12 — блок питания БП-2; 13 — гибкий кабель.



сооружений в вертикальное положение. Однако наибольшее распространение получил способ отвесного визирования, который позволяет быстро и с большой точностью выполнять работы по переносу осей на верхние монтажные горизонты.

В СССР и за рубежом разработан и внедрен целый ряд приборов вертикального проектирования: зенит-прибор, надир-прибор, самоустанавливающийся геодезический прибор (СГП), оптический центрированный прибор (ОЦП), прибор отвесного вертикального проектирования (ПОВП), прецизионный зенит-прибор Цейсса (PZL), лазерный зенит-прибор (ЛЗЦ-1). Наиболее перспективны лазерные зенитные приборы. Луч, генерируемый лазером, в отличие от визирной оси, реально наблюдаем и является опорной линией, относительно которой могут выполняться необходимые измерения. Использование лазеров в зенит-

приборах дает возможность увеличить до 1000 м расстояние визирирования и автоматизировать процесс измерений.

Прибор ЛЗЦ-1 [3] изготовлен на базе оптического теодолита Т-2 и лазера ОКГ-14. Световой луч приводится в отвесное положение с помощью цилиндрического уровня ($\tau=8''$). Прибор испытывали на строительстве Останкинской телебашни в Москве. Его устанавливали на штативе над центром основания башни, а на монтажных горизонтах положение центра находили по палетке с координатной сеткой. Следует отметить невысокую точность задания вертикальности лазерному лучу и то, что визуальный способ отыскания центра светового пятна вносил в результаты измерения субъективные ошибки.

В лазерном зенит-проборе, разработанном автором под руководством проф. А. Л. Островского, применены электронный уровень и фотоэлектрическая индикация оси лазерного луча.

В комплект прибора (рис. 1) входят: оптический квантовый генератор ЛГ-78 с коллимирующей системой; алидадная часть теодолита *G1—C2*, блок питания БП-2. Лазер с коллиматором крепятся в кожухе гироблока специальными держателями с юстировочными винтами. В свою очередь, коллиматор (зрительная труба нивелира-1) установлен на юстировочных винтах в оправе, жестко скрепленной с корпусом лазера. Установка лазерного луча в отвесное положение осуществляется при помощи электронного уровня, расположенного на алидадной части прибора. Прибор устанавливают на штативе и приводят в рабочее положение при помощи трех подъемных винтов. Центрирование над точкой выполняется оптическим отвесом. Фокусировка лазерного луча производится кремальерой.

Основные технические параметры комплекса прибора

Мощность лазерного излучения не менее	— 2 мВт
Длина волны излучения	— 0,6828 мкм
Угол дивергенции лазерного пучка	— 20"
Напряжение сети переменного тока	— 220±22 В
Частота тока	— 50 Гц
Потребляемая мощность не более	— 40 Вт
Масса прибора	— 10 кг
Высота прибора	— 74 см

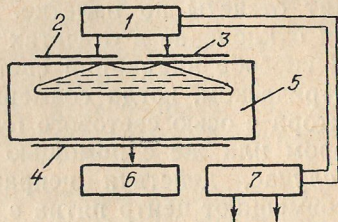
Электронный уровень [2] представляет собой измеритель малых емкостей, собранных по схеме равновесного моста. Он состоит из трех блоков, соединенных гибкими кабелями. В первом блоке находится датчик прибора — прецизионный уровень ($\tau=2''$) с емкостным дифференциальным преобразователем, во втором блоке — электронная часть, в третьем блоке — регистрирующий прибор (микроамперметр).

На рис. 2 показана функциональная схема прибора. Высокочастотное напряжение от генератора 1 подается на пластины 2 и 3 дифференциального конденсатора емкостного преобразователя и на фазовый детектор 7. При наклоне ампулы уровня 5 пузырек перемещается в соответствующую сторону, изменяя при

этом среднюю диэлектрическую проницаемость, а следовательно, и емкость плеч дифференциального конденсатора. Вследствие этого на сигнальной пластине 4 возникает напряжение рассогласования, амплитуда которого будет изменяться в зависимости от угла наклона ампулы, а фаза — от направления наклона. Фазовый детектор, сравнивая фазу этого напряжения с фазой опорного напряжения от генератора, выдает напряжение $U_{\text{вых}}$, пропорциональное значению угла наклона уровня, а полярность указывает на направление наклона. Угол наклона отсчитывается по симметричной шкале (100—0—100) мик-

Рис. 2. Функциональная схема электронного уровня:

1 — генератор; 2, 3, 4 — пластины дифференциального конденсатора емкостного преобразователя; 5 — ампула уровня; 6 — эмиттерный повторитель; 7 — фазовый детектор.



роамперметра μA . Прибор работает в большом диапазоне, так как пределы фиксированной чувствительности можно изменять переключателем. Плавная регулировка чувствительности выполняется с помощью сопротивления. От внешней сети 220 В, 50 Гц прибор потребляет мощность 12 Вт. Поскольку дифференциальный способ регистрации положения пузырька уровня исключает необходимость визуального контроля, датчик можно поместить в термоизолирующий светонепроницаемый корпус и тем самым избавиться от неравномерного прогрева частей ампулы.

Электронный уровень испытывали на экзаменаторе. Дрейф «нуля» не превышал $\pm 0,3$ мкА/ч. Средняя квадратическая погрешность установки уровня составила $\pm 0,05''$. Для обеспечения такой точности вертикальности луча в лазерном зенит-приборе необходимо, чтобы геометрическая схема конструкции прибора удовлетворяла следующим требованиям:

ось уровня перпендикулярна вертикальной оси вращения инструмента;

ось лазерного луча, выходящего из резонатора излучателя, и оптическая ось телескопической системы расположены на одной прямой;

ось лазерного луча, выходящего из коллиматора, совпадает с вертикальной осью вращения инструмента.

Уровень поверяется обычным способом. Необходимость выполнения второго требования вызвана тем, что при несоблюдении этого условия теряется мощность индуцированного излучения (световой пучок не полностью проходит через оптическую систему коллиматора). В результате затрудняется фокусировка светового пучка на большом расстоянии. Для выполнения его необходимо предварительно отъюстировать зеркала резонатора ОКГ, добываясь наибольшего потока вынужденного излучения круглой формы. Затем наводят луч лазера на лист белой бума-

ги, укрепленный над объективом прибора на высоте 2...3 м, и устанавливают коллиматор в корпус излучателя. Перемещая коллиматор при помощи юстировочных винтов и действуя кремальерой, добиваются правильной формы светового пятна с яркой освещенностью.

Чтобы выполнить третью поверку, над прибором на высоте 10 м устанавливают прозрачный экран с миллиметровой координатной сеткой (палетку). После приведения прибора в рабочее положение совмещают центр палетки с центром лазерного пятна и, поворачивая верхнюю часть прибора на 90, 180, 270°, производят отсчеты по палетке. Условие считается выполненным, если отклонение в отсчетах не превышает 0,5 мм при визуальном способе индикации светового пятна и 0,1 мм — при фотоэлектрическом, когда совмещение центра симметрии квадрат-детектора с осью светового пучка определяется стрелочным индикатором или же с помощью регистрации сигнала. В противном случае, действуя исправительными винтами трубки лазера, совмещают центр пятна с отмеченной на палетке точкой (средним значением координат центра пятна).

Для высокоточных измерений на разных монтажных горизонтах третью поверку следует выполнять в два этапа, т. е. на высотах 10 и 100 м.

На точность передачи координат точек по вертикали лазерным зенит-прибором влияют погрешности центрирования $m_{ц}$, приведения оси лазерного луча в отвесное положение $m_{отв}$, индикации оси светового пучка $m_{инд}$, фиксирования точек $m_{ф}$ и рефракции лазерного луча m_{δ} . Суммарное влияние этих погрешностей на точность проектирования точек по вертикали записываем в виде

$$m_{пр} = \sqrt{m_{ц}^2 + m_{отв}^2 + m_{инд}^2 + m_{ф}^2 + m_{\delta}^2}. \quad (1)$$

Погрешность центрирования оптическим отвесом равна $\pm 0,7$ мм.

Значение $m_{отв}$ зависит от цены деления шкалы уровня c'' и высоты проектирования H :

$$m_{отв} = \pm \frac{c'' \cdot H}{\rho}. \quad (2)$$

По результатам испытаний электронного уровня $c=0,05''$, однако в производственных условиях на показания уровня будут влиять температурные деформации, поэтому для расчетов принимаем $c=0,2''$. При высоте проектирования $H=200$ м $m_{отв} = \pm 0,2$ мм. При фотоэлектрической индикации центра светового пятна $m_{инд} = \pm 0,1$ мм.

Исследования [4], выполненные в различных метеорологических условиях, показали, что влияние рефракции на траекторию лазерного луча аналогично влиянию на белый световой

луч. Среднее значение угла рефракции для расстояния порядка 10,4 км составило $\pm 0,6''$. Следовательно, влиянием погрешности рефракционного происхождения при расчетах можно пренебречь.

Предполагая, что фиксирование исходной точки и точки на высоте $H=200$ м выполняется с одинаковой точностью, получаем $m_{\text{пр}} = \pm 0,73$ мм.

Отсюда следует, что на точность передачи координат по вертикали лазерным зенит-прибором существенно влияет только погрешность центрирования. Поэтому для уменьшения ее влияния при высокоточных измерениях на высотном строительстве прибор следует устанавливать непосредственно над опорной точкой при помощи центрировочного устройства (штифта), что позволит повысить точность центрирования до $\pm 0,2$ мм.

Для проектирования точек по отвесной линии при монтаже технологического оборудования целесообразно устанавливать прибор на специальном планово-высотном геодезическом знаке [1].

Предварительные испытания прибора показали, что точность передачи координат точек на монтажные горизонты соответствует расчетной. Это позволяет считать прибор пригодным для геодезического контроля при возведении высотных сооружений с учетом современных требований к точности, производительности труда и удобству в эксплуатации.

Список литературы: 1. Баграуни Г. В. и др. Инженерная геодезия. — М.: Недра, 1969. 2. Уточкин Б. А., Комаров В. В. Электронный уровень с жидкостной ампулой. — Измерительная техника, 1967, № 2. 3. Федоров А. С., Мартынов В. Ф. Лазерные приборы и их применение в строительстве. — Межотраслевые вопросы строительства, 1968, вып. 2. 4. Хаимов З. С. Исследование рефракции луча лазера. — Геодезия и картография, 1968, № 2.

Работа поступила в редколлегия 17 апреля 1979 года. Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.