

## **Виды геодезических измерений**

*Кондратович Вадим Викторович, студент 1-го курса  
кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство,  
водный транспорт и гидравлика»  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Вахнер И.В., ассистент)*

Геодезические измерения – ключевой элемент в изучении и картографировании земной поверхности. Они позволяют собирать точные данные о пространственном расположении объектов, что играет важную роль в инженерных, строительных и кадастровых работах.

Угловые измерения используются в геодезии для определения взаимного положения точек на местности и выполняются с помощью таких приборов, как теодолит, тахеометр и другие. Основные виды углов делятся на горизонтальные (между направлениями в плоскости, например, между двумя вышками или границами участка) и вертикальные (углы наклона или зенитные расстояния). Горизонтальные углы измеряются при построении геодезических сетей, а вертикальные – при тригонометрической нивелировке. Интересно, что в старых теодолитах использовались стеклянные круги с гравировкой, а отсчёты делали через микроскоп. В наше время электронные тахеометры делают это автоматически, и данные сразу сохраняются в память прибора. Из основных методов измерений можно выделить способ круговых приёмов, когда прибор центрируется над точкой, а угол рассчитывается как разность отсчётов на два направления. Для большей точности используют метод повторения измерений или применяют электронные тахеометры, которые автоматически фиксируют данные. Также у приборов существует свой класс, зависящий от их точности: высокоточные теодолиты (погрешность  $\leq 1''$ ), точные (5–15'') и технические ( $\geq 30''$ ). Ошибки при измерении возникают из-за погрешности инструмента, человеческого фактора и внешних условий (рефракции, ветра), но их можно сократить многочисленными поверками, тренировками и выбором благоприятного времени. Современные технологии и инновации, такие как электронные тахеометры и ГНСС (Глобальная навигационная спутниковая система), облегчают процесс геодезических измерений, но классические угловые измерения остаются важной частью геодезических работ.

Линейные измерения в геодезии – это процесс определения расстояний между точками на местности. Эти измерения являются одним из важнейших

видов геодезических работ при создании планов, карт, выполнении разбивочных работ, мониторинге деформаций и других инженерно-геодезических задачах. Существует несколько категорий методов линейных измерений, зависящих от используемого оборудования и требуемой точности. Непосредственные измерения производятся с помощью стальных измерительных рулеток или лент, точность которых достигает  $1/1000$ – $1/3000$ . Для высокоточных измерений, например, при создании базисных сетей, применяют инварные проволоки. В современное время используются лазерные дальномеры, позволяющие проводить измерения быстро и с точностью до  $\pm 1$ – $3$  мм. Оптические методы измерения включают нитяной дальномер, применяемый в нивелирах и теодолитах, а также дальномерные штрихи, нанесенные на прицел тахеометра при тахеометрической съемке. Данные методы просты и удобны при топографических съемках, но их точность ниже, чем у электронных аналогов. Электронные методы основаны на использовании светодальномеров и электронных тахеометров, принцип работы которых основан на измерении времени прохождения луча света или радиосигнала. Точность таких приборов достигает  $\pm 1$  мм с дополнительной погрешностью  $1$ – $2$  ppm, что делает их необходимыми в современных геодезических измерениях. Спутниковые технологии (GNSS, GPS, ГЛОНАСС) позволяют определять расстояния между точками с высокой точностью (до  $1$ – $5$  мм в относительных измерениях) и эффективны при крупномасштабных съемках и разбивочных работах. Гидростатическое нивелирование используется в особых случаях, например, при работе в туннелях или иных замкнутых пространствах, где обычные виды измерений могут быть подвержены серьезным погрешностям. При реализации высокоточных измерений следует учитывать ряд поправок, таких как поправка за компарирование (так как длина мерного прибора может не соответствовать его шкале), поправка за наклон (приведение измерений, сделанных под углом, к горизонту) и поправка за провес (при использовании ленты "на весу"). Также следует учитывать температурную поправку, связанную с изменением объема мерного прибора под воздействием температуры. Точность измерений варьируется в зависимости от используемого метода. Например, высокоточные измерения ( $1/10000$  и выше) выполняются с использованием инварных проволок и электронных тахеометров; средняя точность ( $1/1000$  -  $1/5000$ ) достигается с помощью стальных рулеток и лазерных дальномеров, а низкая точность ( $1/200$  -  $1/500$ ) характерна для нитяных дальномеров и шагомерных методов. Применение линейных измерений охватывает широчайший круг задач: от построения геодезических сетей и проверки осей зданий и сооружений на местности и профилирования местности до контроля деформаций. Для каждой задачи применяется та или иная методика в зависимости от условий местности,

оборудования и необходимой точности. Чтобы оценить качество точности определенных методов, а также техническое совершенство измерительных приборов, необходимо учитывать недостатки, возникающие при выполнении работ. Соответственно, линейные измерения остаются главной основой геодезических измерений, которые обеспечивают высокую точность проектных и строительных работ и надежность инженерно-геологической отрасли.

В геодезии высотные измерения ориентированы на нахождение высот точек земной поверхности относительно выбранной системы отсчёта, например, геоида (близкого к среднему уровню моря) или эллипсоида (математической модели Земли). Абсолютные высоты отсчитывают по мировым системам (Балтийская, NAVD88), а относительные – от локальных точек (например, фундамента здания). К основным методам относят: геометрическое нивелирование с нивелиром и рейками (для строительства погрешность составляет  $\pm 1-2$  мм на 1 км); тригонометрическое нивелирование с использованием теодолита (по вертикальным углам и расстояниям погрешность составляет  $\pm 10-50$  см из-за рефракции); гидростатическое нивелирование через связанные сосуды (для точных измерений в тоннелях погрешность составляет  $\pm 0,1$  мм); барометрическое нивелирование с барометром (по давлению погрешность составляет  $\pm 1-5$  м) и GPS-нивелирование с определением высот относительно эллипсоида WGS84 и с учётом коррекций к геоиду (погрешность до  $\pm 1-3$  см). Новейшие технологические разработки дополняют традиционные: лидар проектирует 3D-модели рельефа (погрешность  $\pm 5$  см), дроны со встроенным GPS снимают труднодоступные зоны, а радарная интерферометрия (InSAR) отслеживает деформации поверхности.