

УДК 621.375:528.541

*Т.Ю. Терещенко***МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНТАЖНЫХ РАБОТ ПРИ ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Семинар № 1

Использование лазерных приборов при подземном строительстве способствует повышению производительности труда и удобству выполнения измерительных операций. Некоторые особенности лазерного нивелирования в подземных горных выработках были освещены в работе [1]. Однако вопросы, связанные с выбором лазерных нивелиров для производства контрольно-измерительных операций при монтаже подземного оборудования, требуют дополнительных исследований. Наиболее перспективными для выполнения нивелировочных работ при установке и монтаже технологического оборудования являются приборы с лазерными излучателями в видимой области спектра, уже освоенные отечественной промышленностью. Из них наиболее известны лазерные насадки на геодезические приборы типа ЛН-1 с полупроводниковым лазерным диодом (ПЛД) [2] и лазерные нивелиры НКЛЗ, использующие излучение гелий-неоновых лазеров, сформированных в кольцевую интерференционную структуру (КИС) [3].

Исследование точности лазерной насадки ЛН-1 в комплекте с нивелиром НЗ выполнялось на дистанции 21,60 м двумя приемами, по 10 отсчетов в каждом приеме. Пузырек цилиндрического уровня нивелира сбивался элевационным винтом, а после установки уровня, по шкале с ценой деления 1 мм снимался отсчет, соответствующий положению луча лазера. Поскольку диаметр центральной зоны КИС излучения ПЛД составлял 2,5 мм, точность отсчитывания по шкале с ценой деления 1 мм не превышала 0,5 мм.

Исследование точности лазерного нивелира НКЛЗ выполнялось на дистанции 21,55 м тремя приемами при изменении продольного угла наклона прибора продольным винтом трегера от 0 до 24,80' с интервалом в 2,48'. Прием состоял из двух полуприемов, при этом в первом полуприеме прибор из горизонтального положения наклонялся «прямо» в сторону объектива, а затем «обратно», до возвращения в горизонтальное положение. Во втором полуприеме прибор из горизонтального положения наклонялся «прямо» в сторону, противоположную объективу, а затем «обратно», в исходное (горизонтальное) положение и т. д. При каждом значении угла наклона прибора снимались отсчеты, соответствующие положению центральной точки КИС, диаметр которой не превосходил 0,1 мм. Таким образом, для каждого значения угла наклона нивелира в полуприеме получалось два отсчета из измерений «прямо» и «обратно», образующие пару; в приеме было всего 22 пары отсчетов.

Оценка точности лазерной насадки ЛН-1 с нивелиром НЗ выполнялась по известной формуле Бесселя

$$m = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}, \quad (1)$$

где v - отклонение отдельного результата от арифметической середины; n - число измерений.

По результатам исследований точность лазерной насадки ЛН-1 с нивелиром НЗ характеризуется средней квадратической погрешностью (СКП) $m = \pm 0,36$ мм, или в угловой мере 3,41".

Оценка точности лазерного нивелира НКЛЗ выполнялась по известной формуле

$$m = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2k}}, \quad (2)$$

где d - значение разности пары отсчетов, полученных в полуприеме при измерениях «прямо» и «обратно» для одинаковых значений угла наклона; k - число разностей.

По результатам исследований точность лазерного нивелира НКЛЗ характеризуется СКП 0,037 мм, или в угловой мере 0,36". Точность стабилизации лазерного луча в пространстве по результатам экспериментов можно оценить, учитывая m_r - погрешность горизонтирования луча нивелира с помощью уровня или компенсатора углов наклона. Погрешность стабилизации луча определяется как

$$m_c^2 = m^2 - m_r^2. \quad (3)$$

Контактный уровень нивелира НЗ горизонтирует с СКП не более 0,5", тогда по формуле (3) для лазерной насадки ЛН-1 получим $m_c = 3,37"$. Жидкостный компенсатор лазерного нивелира НКЛЗ приводит луч к горизонту с СКП не более 0,24", тогда по формуле (3) для этого нивелира получим $m_c = 0,27"$. Сравнивая СКП стабилизации излучения ПЛД насадки ЛН-1 и излучения гелий-неонового лазера, сформированного в КИС, можно отметить преимущества последнего источника излучения в точности стабилизации. Однако ПЛД, в отличие от гелий-неонового лазера, имеет малые габариты и незначительный расход электроэнергии. Поэтому целесообразно определить область применения геодезических приборов с разными типами излучателей в зависимости от требуемой точности выполнения монтажных работ.

Согласно Инструкции [4], строительный допуск δ при монтаже турбинных водоводов подземных гидротехнических сооружений составляет 2 мм. Требуемую СКП нивелирования можно определить, согласно [5], как

$$m_{h(\delta)} = \frac{\delta}{6}. \quad (4)$$

Принимая $\delta = 2,0$ мм, по формуле (4) получим $m_{h(\delta)} = 0,33$ мм. СКП определения превышения на станции нивелирования, исходя из полученных выше значений СКП отсчета m , равна

$$m_h = m\sqrt{2}. \quad (5)$$

Полагая, что дистанция до объекта монтажных работ при использовании нивелира НКЛЗ равна 21,5 м и принимая полученное выше значение $m = 0,037$ мм, по формуле (5) получим $m_h = 0,05$ мм. Достижение такой точности нивелиром НКЛЗ возможно с использованием специальной визуальной марки с кольцевой сеткой нитей и индикатором часового типа, имеющейся в комплекте прибора [3].

Выполнение прецизионных измерительных операций в подземных горных выработках требует учета влияния внешней среды. Исследованиями, выполненными в работе [6], выявлены значительные вертикальные градиенты в атмосфере тоннелей. Отклонение лазерного луча в вертикальной плоскости под действием атмосферной рефракции на дистанции D может быть определено, согласно [3], по формуле

$$\Delta = -\frac{39,53 \cdot PD^2 \tau \cdot 10^{-6}}{T^2}, \quad (6)$$

где P , T и τ - температура, давление и вертикальный температурный градиент воздуха соответственно.

Принимая $P = 1026,6$ мбар, $T = 287,2$ °К и $\tau = +1,5$ °К/м [6], при $D = 22$ м, по формуле (6) получим $\Delta = -0,36$ мм. Заметим, что вычисленное частное значение Δ характерно для стратификации слоев в рудничной атмосфере с возрастанием температуры от почвы к кровле выработки, так называемой инверсии, вызывающей отклонение лазерных лучей вниз. Стратификация приземного слоя воздуха на земной поверхности в дневное время противоположна, т. е. температура воздуха с удалением от почвы убывает, что, соответственно, вызывает отклонение лучей вверх. Это явление необходимо учитывать при производстве проверок нивелиров как лазерных, так и визуальных.

Если проверки нивелира выполнены на поверхности, то при работе в подземных горных выработках возможно усиление влияния рефракции вследствие изменения знака вертикального температурного градиента на противоположный. Снижению влияния атмосферной рефракции на точность нивелирования в подземных горных выработках способствует выполнение проверок непосредственно на месте работ. Соблюдение этого правила особенно важно при производстве контрольно-измерительных операций лазерными нивелирами в процессе монтажных работ, т. к. в этом случае чаще используется нивелирование вперед, а не из середины. Желательно также, чтобы режим вентиляции при выполнении прецизионных лазерных измерений был постоянным.

Определим область применения лазерной насадки ЛН-1 с нивелиром НЗ при контроле монтажных работ. Используя полученное выше значение СКП отсчитывания по лазерному лучу этого прибора на дистанции 21,6 м $m = 0,36$ мм, по формуле (5) получим $m_n = 0,51$ мм. Учитывая выражение (4), получим значение строительного

допуска, обеспечиваемого этим прибором: $\delta = 3,6$ мм. Следовательно, лазерную насадку в комплекте с нивелиром НЗ можно использовать в большинстве случаев, предусмотренных Инструкцией [4]. Однако при выполнении особо ответственных измерительных операций целесообразно применять нивелир НКЛЗ.

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы

1) Контрольно-измерительные операции при монтажных работах в подземных горных выработках рекомендуется выполнять: а) при строительных допусках 3,6 мм и более - лазерной насадкой ЛН-1 с нивелиром НЗ; б) при строительных допусках меньше 3,6 мм - лазерным нивелиром типа НКЛЗ с формированием КИС излучения;

2) Проверки нивелиров целесообразно выполнять непосредственно в подземных горных выработках, перед началом ответственных работ, для снижения влияния атмосферной рефракции на точность измерений;

3) Лазерное прецизионное нивелирование в подземных горных выработках желательно производить в периоды с постоянным режимом вентиляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалов Ю.И., Терещенко Т.Ю. Лазерное нивелирование при строительстве гидротехнических тоннелей // Известия вузов. Горный журнал № 5/6, 1998 г. С. 30 - 33.

2. ВНИИМ: Лазерная насадка на зрительную трубу геодезического прибора ЛН-1/ Кулакова А.Ф., Мовчан В.М. - Петербург. ж. электрон. - 1998. - № 2. С. 80 - 84.

3. Беспалов Ю.И., Голованов М.Н. Новые приборы и методы ведения маркшейдерско-геодезических работ. Владивосток. Изд. Дальневост. ун-та, 1993, 100 с.

4. Инструкция по геодезическим и маркшейдерским работам при строительстве транспортных тоннелей (ВСН 160-69) - М., Оргтрансстрой, 1970, 464 с.

5. Левчук Г.П. Инженерная геодезия. М., Недра, 1970, 411 с.

6. Терещенко Т.Ю. Исследование влияния факторов внешней среды на точность нивелирования в тоннелях Метростроя Санкт-Петербурга / XXIX неделя науки Санкт-Петербургского государственного технического университета, Ч. 1, Матер. межвуз. научн. конф. СПб б.: СПбГТУ, 2001. С. 55 -56.

Коротко об авторах

Терещенко Т.Ю. – старший преподаватель кафедры геодезии, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.