

Б. Т. ТЛУСТЯК

**ТОЧНОСТЬ ОДНОСТОРОННЕГО
ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ
НАД МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДНЕСТАТИСТИЧЕСКОГО
КОЭФФИЦИЕНТА ВЕРТИКАЛЬНОЙ РЕФРАКЦИИ**

· Определение высот пунктов в сетях морской триангуляции методом тригонометрического нивелирования является основным при развитии высотного обоснования для картографирования континентального шельфа. Однако до сих пор отсутствуют формулы для предвычисления точности и не оценены технические возможности нивелирования над морской поверхностью. Этим вопросам и посвящена настоящая работа.

Главной причиной, ограничивающей точность тригонометрического нивелирования, являются ошибки, вызываемые вер-

тикальной рефракцией. Коэффициент вертикальной рефракции в условиях приводного слоя атмосферы изменяется в широких пределах от $-2,09$ до $+1,66$ и при прочих равных условиях зависит от высоты визирного луча над морской поверхностью [7].

Использование среднестатистического $k=0,16$ *, обладающего вероятностной обеспеченностью $5-7\%$ [3] в нижнем 100-метровом приводном слое, приводит к значительным ошибкам нивелирования.

Проанализируем основные ошибки одностороннего нивелирования и на основании обширных экспериментальных исследований [1, 4 и 7] оценим его технические возможности.

При одностороннем тригонометрическом нивелировании превышение определяется по формуле

$$h_{12} = S \operatorname{ctg} z_{12} + \frac{(1-k)S^2}{2R \sin^2 z_{12}} + i_1 - l_2 + \frac{H_m + N_m}{R} S \operatorname{ctg} z_{12} + (u)_{12} + \Delta E, \quad (1)$$

где S — расстояние от инструмента до визирной цели, отнесенное к поверхности эллипсоида; z_{12} — измеренное зенитное расстояние; k — коэффициент вертикальной рефракции; i_1 — высота инструмента; l_2 — высота визирной цели; R — средний радиус кривизны эллипсоида для района работ; H_m — среднее из высот пунктов над квазигеоидом; N_m — среднее из высот соответствующих точек квазигеоида над эллипсоидом; $(u)_{12}$ — поправка за влияние уклонений отвесных линий; ΔE — поправка за переход от измеренной разности высот к разности нормальных высот.

Все члены формулы (1), начиная с третьего, могут быть непосредственно измерены или вычислены с незначительными ошибками, заведомо не превышающими практические допуски. Формулы для вычислений $(u)_{12}$ и ΔE приводятся в [8].

Точность определения превышения зависит от точности измерений расстояния от инструмента до визирной цели, зенитного расстояния и определения коэффициента вертикальной рефракции.

Поэтому, рассматривая S , z и k в формуле (1) независимыми переменными, средняя квадратическая ошибка превышения определится по формуле

$$m_h^2 = \left(\frac{S}{\rho}\right)^2 m_z^2 + \left(\frac{S^2}{2R}\right)^2 m_k^2. \quad (2)$$

Как показал производственный опыт, измерения зенитных расстояний в сетях морской триангуляции и данные экспериментальных исследований [1], [4], [5], [6] и [7], средняя квадрати-

* Принят как среднестатистическая величина в мореходной практике.

Решение системы уравнений (5) с двумя неизвестными a и b позволили представить изменение m_k с высотой в виде

$$m_k = \pm \frac{0,921}{h_0^{1,046}} \quad (6)$$

Из-за незначительного отличия значения степени при h_0 от единицы вид функции, определяющий зависимость m_k от высоты, может быть значительно упрощен и приведен к следующему окончательному виду

$$m_k = \pm \frac{0,861}{h_0} \quad (7)$$

Анализ показывает, что формула (7) отражает изменение средней квадратической ошибки среднестатистического коэффициента вертикальной рефракции от высоты визирного луча со средней ошибкой 15—20% (см. результаты вычислений).

В предположении незначительных экстраполяционных ошибок можно полагать, что на высоте 861 м средняя квадратическая ошибка коэффициента рефракции составит $\pm 0,001$. Это приближенная оценка высоты слоя «активной» земной рефракции над морской поверхностью и, естественно, нуждается в уточнении другими методами, например, метеорологическим.

Зависимость m_k от высоты визирного луча, выраженная уравнением (7), позволяет получить формулу для предвычисления точности одностороннего нивелирования с использованием $k=0,16$.

После подстановки значения m_k из (7) в уравнение (2) и несложных преобразований получаем

$$m_{h, м.м} = \pm \sqrt{23,50 m_z'^2 s_{к.м}^2 + 4566 \frac{s_{к.м}^4}{h_{0\text{ЭМ}}^2}} \quad (8)$$

где h_0 — эквивалентная высота, которая для горизонтального визирования равна средней высоте визирного луча над морской поверхностью.

Таким образом, формула (8) позволяет оценить технические возможности одностороннего тригонометрического нивелирования в зависимости от применяемых инструментов, высоты визирного луча над морем и расстояния.

С использованием формулы (8) составлена программа для ЭВМ «М-222» и после решения этой задачи получены результаты, которые приведены в таблице.

Полученные данные показывают, что точность одностороннего тригонометрического нивелирования существенно зависит от высоты визирного луча над морской поверхностью. При увеличении расстояния этот фактор становится определяющим. С применением высокоточных инструментов тригонометрическое нивелирование для расстояний до 0,5 км может заменить

геометрическое нивелирование III класса, а до 1 км — геометрическое нивелирование IV класса. Тригонометрическое нивелирование при длине луча визирования до 2 км не уступает по точности техническому нивелированию.

При дальнейшем увеличении расстояния и низких визирных лучах точность тригонометрического нивелирования существенно падает из-за возрастания ошибок рефракционного происхождения.

Точность одностороннего тригонометрического нивелирования с использованием $K=0,16$ (ср. кв. ошибка, мм)

Точность измерения m_z	Средняя высота визирного луча, м	Расстояние, км							
		0,1	0,5	1	5	10	20	30	
1"	1	0,8	17,1	67,7	1690				
	5	0,5	4,2	14,4	339	1352			
	10	0,5	3,0	8,3	171	678	2705	6083	
	100	0,5	2,4	4,9	30	83	287	625	
5"	1	2,5	20,8	71,8	1694				
	5	2,4	12,6	27,8	359	1373			
	10	2,4	12,2	25,2	208	718	2746	6125	
	100	2,4	12,1	24,2	122	252	555	948	
30"	1	14,6	74,7	160,4	1839				
	5	14,5	72,8	146,1	802	1985			
	10	14,5	72,7	145,6	747	1604	3971	7485	
	100	14,5	72,7	145,4	727	1456	2921	4406	

В заключение отметим, что данные таблицы позволяют решить многие методические вопросы одностороннего тригонометрического нивелирования над морской поверхностью в части выбора инструмента, высоты визирования и расстояния для достижения необходимой точности.

Формула (8) позволяет предвычислить точность одностороннего нивелирования с ошибкой 15—20% и может быть использована при проектировании сетей морской триангуляции с определением высот методом одностороннего тригонометрического нивелирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дрок М. К. Исследование влияния вертикальной рефракции при одностороннем геодезическом нивелировании через водные пространства. — «Научные записки Львовского политехнического института. Серия геодезическая», 1961, № 6.
2. Изотов А. А., Пеллинен Л. П. Исследование земной рефракции и методов геодезического нивелирования. — «Тр. ЦНИИГАиК», 1955, вып. 102.
3. Казанский К. В. Земная рефракция под обширными водными поверхностями. Л., Гидрометеонздат, 1966.
4. Маслич Д. И. Влияние рефракционного поля обширных водоемов на геодезические измерения. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1966, вып. 5.

5. Маслич Д. И., Коваленко В. А. О необходимой точности измерения зенитных расстояний. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1970, вып. 12.

6. Маслич Д. И., Хижак Л. С. Расчет точности геодезического нивелирования. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1970, вып. 12.

7. Тлустяк Б. Т. Исследование закономерностей изменения коэффициента земной рефракции в прибрежной зоне больших водных поверхностей. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1974, вып. 20.

8. Справочник геодезиста. М., «Недра», 1966.

Работа поступила 25 мая 1974 года. Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.
