

ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЯ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЗИМУТАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ ЖЕСТКОГО ПРОТЯЖЕННОГО ОБЪЕКТА

д.т.н. А.М. Крюков, С.А. Тышко

Обосновывается возможность использования аппаратуры потребителя спутниковой навигации (АПСН) и лазерного тахеометра (ЛТ) для определения азимутальной ориентации жесткого протяженного объекта. Рассмотрены способы решения измерительной задачи, обоснованы требования к погрешностям определения геодезических координат и расстояний, даны рекомендации по реализации измерительного процесса, проведен анализ погрешностей определения азимутальной ориентации.

При эксплуатации сложных технических систем в полевых условиях возникает необходимость в определении азимутальной ориентации произвольно расположенных в пространстве жестких протяженных объектов (ПО), например, подвижных агрегатов или их отдельных элементов, с погрешностью порядка нескольких единиц угловых секунд в условиях ограничений по времени. Такая задача может быть решена при помощи специальных оптико-механических систем на основе хранителей направления или гирокомпасов [1]. Однако, подобные системы являются весьма дорогостоящими и не могут быть унифицированы для всего многообразия агрегатов или их элементов.

В качестве одного из возможных путей определения азимутальной ориентации ПО может рассматриваться решение измерительной задачи с использованием унифицированного ЛТ в комплексе с АПСН. Для этого на боковой поверхности ПО размещается оптический контрольный элемент (ОКЭ) (например, плоское зеркало), продольная ось которого жестко связана с продольной осью ПО. Таким образом, задача сводится к определению азимутальной ориентации продольной оси ОКЭ.

Для решения задачи ЛТ устанавливается в точке **A** (рис. 1), из которой возможно восстановление оптической нормали к ОКЭ и обеспечивается прямая видимость некоторой точки **B**, произвольно размещенной на местности. При помощи АПСН определяются прямоугольные координаты X_A, Y_A точки **A** и X_B, Y_B точки **B**. Азимут $A_{\text{бн}}$ базового направления **AB** определяется выражением

$$A_{\text{бн}} = \arctg \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}. \quad (1)$$

При помощи угломерной части ЛТ определяется угол β между нормалью к ОКЭ и базовым направлением. Азимут A_{Π} продольной оси ПО определяется соотношением

$$A_{\Pi} = \pi/2 - A_{\text{бн}} - \beta. \quad (2)$$

Определим требования к значению среднеквадратического отклонения (СКО) погрешности определения координат при помощи АПСН, если СКО погрешности определения азимутальной ориентации ПО не должно превышать 1 угловой минуты.

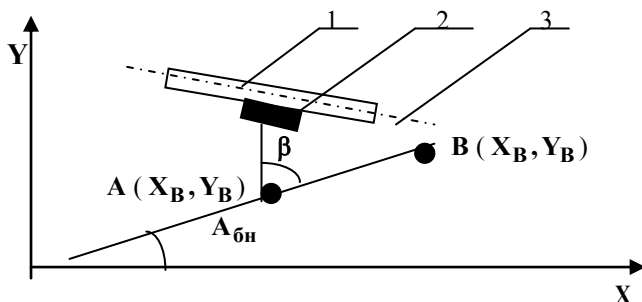


Рис.1. Схема решения измерительной задачи:

- 1 - жесткий протяженный объект;
- 2 - продольная ось ПО;
- 3 - отражатель

Ввиду того, что измерение азимутальной ориентации ПО проводится косвенным методом, а погрешности измерения углов и координат в общем случае не коррелированы между собой, суммарное значение СКО σ_{Π} погрешности определения A_{Π} представляется выражением

$$\sigma_{\Pi} = \sqrt{\sigma_{\text{бн}}^2 + \sigma_{\beta}^2}, \quad (3)$$

где $\sigma_{\text{бн}}$ - СКО погрешности определения азимута базового направления;

σ_{β} - СКО погрешности угломерной части ЛТ.

Полагая, что СКО погрешностей определения координат точек A и B при помощи АПСН по двум координатным осям равны, т.е. $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_{\text{апсн}}$, запишем

$$\sigma_{\text{бн}} = \sigma_{\text{апсн}} \sqrt{K_{XA}^2 + K_{XB}^2 + K_{YA}^2 + K_{YB}^2}, \quad (4)$$

где $K_{XA} = \frac{\partial A_{\text{бн}}}{\partial X_A}$; $K_{XB} = \frac{\partial A_{\text{бн}}}{\partial X_B}$; $K_{YA} = \frac{\partial A_{\text{бн}}}{\partial Y_A}$; $K_{YB} = \frac{\partial A_{\text{бн}}}{\partial Y_B}$.

Из (1), (4) получим

$$\sigma_{\text{апсн}} = \sqrt{\frac{\sigma_{\Pi}^2 - \sigma_{\beta}^2}{K_{XA}^2 + K_{XB}^2 + K_{YA}^2 + K_{YB}^2}} \quad (5)$$

Результаты числовой оценки предельно допустимых значений СКО погрешности определения координат при помощи АПСН для некоторых характерных значений длин базы \mathbf{b} (расстояний между точками \mathbf{A} и \mathbf{B}), а также с учетом, что $\sigma_{\beta} = 5 \div 10''$ [2] приведены в табл. 1.

Таблица 1

Предельно допустимые значения СКО погрешности определения координат при помощи АПСН

\mathbf{b} , м.	1	10	50	100	500	1000	2000
$\sigma_{\text{апсн}}$, м.	$2.1 \cdot 10^{-4}$	$2.1 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}	$2.1 \cdot 10^{-2}$	10^{-1}	$2.1 \cdot 10^{-1}$	0.43

Анализ данных табл. 1 показывает, что для обеспечения требуемой точности азимутальной ориентации ПО требуется протяженная (более 1000 м) база, а также работа АПСН в дифференциальном режиме (т.е. с $\sigma_{\text{апсн}}$ не более нескольких десятков сантиметров).

В случае невозможности обеспечить указанные условия проведения измерений задача может быть решена с использованием дополнительных заблаговременно подготовленных в геодезическом отношении точек \mathbf{C} и \mathbf{D} .

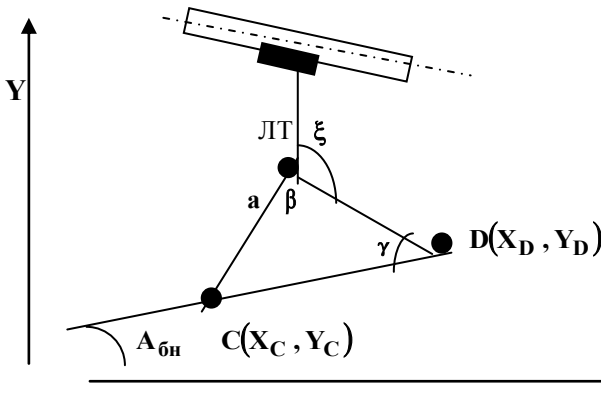


Рис. 2. Схема решения измерительной задачи с использованием заблаговременно подготовленной позиции

Для расчета \mathbf{A}_{Π} ЛТ устанавливается в точке, из которой обеспечивается прямая видимость на точки \mathbf{C} и \mathbf{D} (рис. 2), в которых размеща-

ются уголкового отражатели. При помощи угломерной части ЛТ измеряются углы ξ (между нормалью к ОКЭ и направлением на точку **D**) и β (между направлениями на точки **C** и **D**), а при помощи дальномерной части ЛТ измеряется расстояние **a** до точки **C**. По известным координатам X_C, Y_C и X_D, Y_D точек **C** и **D** вычисляется расстояние **b** между ними. Согласно (1), определяется азимут $A_{\text{бн}}$ базового направления и вычисляется угол γ :

$$\gamma = \arcsin \left(\frac{a \cdot \sin \beta}{\sqrt{(Y_C - Y_D)^2 + (X_C - X_D)^2}} \right). \quad (6)$$

Таким образом, с учетом (1) и (6) азимут $A_{\text{П}}$ продольной оси ПО определяется соотношением

$$A_{\text{П}} = \pi / 2 - \arctg \left(\frac{Y_C - Y_D}{X_C - X_D} \right) + \arcsin \left(\frac{a \cdot \sin \beta}{\sqrt{(Y_C - Y_D)^2 + (X_C - X_D)^2}} \right) - \xi. \quad (7)$$

Определим требования к СКО погрешности измерения расстояния **a** при помощи дальномерной части лазерного тахеометра для указанных выше требований к среднеквадратическому отклонению погрешности определения азимутальной ориентации ПО. Погрешности измерения углов β и ξ являются коррелированными. Тогда выражение для СКО $\sigma_{\text{П}}$ погрешности определения $A_{\text{П}}$ будет иметь вид

$$\sigma_{\text{П}} = \sqrt{\sigma_{\text{апсн}}^2 (K_{\text{XD}}^2 + K_{\text{XC}}^2 + K_{\text{YD}}^2 + K_{\text{YC}}^2) + (K_{\beta} \sigma_{\beta} + \sigma_{\xi})^2 + K_{\text{a}}^2 \sigma_{\text{a}}^2}, \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned} K_{\text{a}} &= \frac{\partial A_{\text{П}}}{\partial a}; & K_{\beta} &= \frac{\partial A_{\text{П}}}{\partial \beta}; \\ K_{\text{XC}} &= \frac{\partial A_{\text{П}}}{\partial X_C}; & K_{\text{XD}} &= \frac{\partial A_{\text{П}}}{\partial X_D}; \\ K_{\text{YD}} &= \frac{\partial A_{\text{П}}}{\partial Y_D}; & K_{\text{YC}} &= \frac{\partial A_{\text{П}}}{\partial Y_C}. \end{aligned}$$

Из выражений (8) получим

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sigma_{\Pi}^2 - \sigma_{\text{анси}}^2 (K_{XD}^2 + K_{XC}^2 + K_{YD}^2 + K_{YC}^2) - (K_{\beta}\sigma_{\beta} - \sigma_{\xi})^2}{K_a^2}}. \quad (9)$$

Числовая оценка предельно допустимых значений СКО погрешности измерения **a** проводилась в предположении, что координаты **X_C**, **Y_C** и **X_D**, **Y_D** точек **C** и **D** определены при заблаговременной геодезической подготовке с СКО погрешности порядка 0,001 м, а $\sigma_{\beta} = 5 \div 10''$. Результаты оценки для некоторых характерных сочетаний условий проведения измерений приведены в табл. 2.

Таблица 2

Оценка предельно допустимых значений СКО погрешности измерения расстояния лазерным тахеометром

b , м.	100	500	1000	2000
a , м.	100	500	1000	2000
σ_a , м.	0.04	0.27	0.56	1.1

Результаты, представленные в табл. 2, свидетельствуют о возможности применения известных лазерных тахеометров [4] для решения рассматриваемой измерительной задачи при длине базы порядка нескольких сотен – единиц тысяч метров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
2. Куликов Е.Д. Военная топография. Топографическое обеспечение подразделений и частей ЗРВ. – М.: Воениздат, 1979. – 183 с.
3. Никитин Е.А., Шестиков С.А. Гироскопические системы Ч.2. – М.: Высшая школа, 1988. – 307 с.
4. Лазерный тахеометр. Техническое описание.

Поступила в редколлегию 30.06.2001