

УДК 528.48

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ОБЪЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНОГО ТРЕКЕРА
МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Г.Б. Бузик^{1*}, В.В. Петров², М.Г. Мустафин¹

*gleb.buzik@gmail.com

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Российская Федерация,
Санкт-Петербург

² ООО «Промышленная геодезия», Российская Федерация, Санкт-
Петербург

Ключевые слова: промышленная геодезия, лазерный трекер, динамические измерения

Аннотация: Приведено описание и оценка точности метода динамических измерений лазерным трекером Leica AT960 для определения кинематических параметров объектов при решении таких задач, как калибровка промышленных роботов и бросковые испытания космических аппаратов.

Современные задачи промышленной геодезии часто включают в себя необходимость контроля пространственных характеристик объекта в процессе его движения – линейной скорости, траектории, ориентации. В частности, подобные задачи решаются при проведении калибровки промышленных роботов-манипуляторов, динамических испытаний спутников и посадочных модулей космических аппаратов.

Современные лазерные трекеры Leica AT960 способны выполнять измерение координат визирной цели – триппель призмного отражателя – с частотой 1000 Гц. Радиальная составляющая скорости визирной цели при этом может составлять более 6 м/с, латеральная составляющая – более 4 м/с [2]. Именно подобные характеристики делают возможным измерение пространственных характеристик объектов и явлений в динамике.

Использование специализированной визирной цели Leica T-Mac, содержащей, помимо триппель призмного отражателя, сеть инфракрасных светодиодов, позволяет в результате каждого отдельного измерения определять, помимо декартовых координат визирной цели,

углы поворота цели относительно осей выбранной рабочей СК [2].

Дополнительной функцией лазерного трекера является точное определение моментов времени измерений – меток времени в единой системе отсчета, с погрешностью ± 5 мкс. Отсчет времени производится с применением встроенного в контроллер трекера источника опорного сигнала с известной частотой. Также существует возможность подключения и использования внешнего источника опорной частоты для синхронизации измерений с внешним процессом и отсчета времени во внешней системе.

Таким образом, для любого i -го измерения с помощью портативной координатоопределяющей системы известны 7 параметров: декартовы координаты X_i, Y_i, Z_i , углы Эйлера $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$, момент времени измерений t_i .

Непрерывные измерения визирной цели, закрепленной на движущемся объекте, с частотой 1000 Гц формируют в координатном пространстве траекторию перемещения объекта, представленную в виде набора точек.

Для каждого отрезка между точками P_i и P_{i+1} с метками времени t_i и t_{i+1} возможно также вычисление линейной скорости по формуле:

$$V_{i-(i+1)} = \frac{\sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2 + (Z_{i+1} - Z_i)^2}}{t_{i+1} - t_i}$$

Лазерные трекеры Leica AT960 внесены в Государственный Реестр Средств измерений как средства измерения статических пространственных характеристик – декартовых координат через измерение горизонтального, вертикального направлений и наклонного расстояния.

Подтверждение метрологических характеристик при определении скорости указанным выше способом потребовало проведения испытаний с применением динамического эталона, кинематические параметры которого были бы известны.

Данные испытания с целью аттестации методики измерений были проведены на государственном вторичном (рабочем) эталоне единицы частоты вращения на базе ВНИИМ им. Менделеева. Эталон представляет собой центрифугу, период обращения которой известен с погрешностью 10^{-4} сек. Зная период обращения T , возможно вычислить

угловую скорость ω перемещения всех точек на плече центрифуги.

В случае если радиус окружности R , по которой перемещается точка, известен, возможно вычисление эталонной линейной скорости точки по формулам:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}; V = R \omega$$

Установка на плечо центрифуги визирной цели и выполнение динамических измерений ее координат в процессе вращения позволяет вычислить фактическую линейную скорость и провести оценку точности данного метода.

Измерения проводились для 2х ориентаций лазерного трекера над плоскостью вращения центрифуги – под углом 19° и 90° . Линейные скорости вращения при этом составили от 2.7 м/с до 9.62 м/с.

Для каждого цикла измерений для выбранной линейной скорости, результаты измерений сохранялись на протяжении минимум 10 оборотов центрифуги.

В процессе обработки результатов фактическая линейная скорость вычислялась для дуг окружности, опирающихся на угловые сектора в 360° (полный оборот), 180° , 90° , 45° , 10° , 5° , 1° , а также для дуг окружности, опирающихся на угол, равный $(\varphi_{i+1} - \varphi_i)$ – разницы координат в цилиндрической системе для 2х последовательных измерений i и $i+1$.

$$V_{i-(i+1)} = \frac{R (\varphi_{i+1} - \varphi_i)}{t_{i+1} - t_i}$$

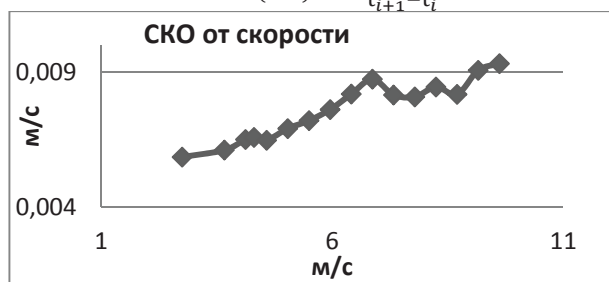


Рис. 1. Зависимость СКО определения линейной скорости от скорости движения объекта.

Для оценки точности метода, была вычислена СКО определения линейной скорости для различных эталонных скоростей.

Оценка результатов динамических измерений, выполненных при

испытаниях. Подтверждает применимость портативной координато-определяющей системы – лазерного трекера Leica AT960 для определения кинематических параметров объектов.

Литература

1. Петров В. В. Обмер объектов крупного машиностроения в пространственных высотно-угловых сетях / В. В. Петров // Полезные ископаемые России и их освоение сб. тр. науч.-практич. конф.- Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный горный институт, 1996. – С. 165 – 175.

2. Описание типа средств измерений Системы лазерные координатно-измерительные Leica Absolute Tracker AT901, Leica Absolute Tracker AT402.

DETERMINATION OF OBJECT'S KINEMATIC PARAMETERS BY MEANS OF LASER TRACKER USING DYNAMIC MEASUREMENTS APPROACH

G. Buzik^{1*}, V. Petrov², M. Mustafin¹

*gleb.buzik@gmail.com

¹ Saint Petersburg Mining University, Russian Federation, Saint Petersburg

² LLC «Industrial Geodesy», Russian Federation, Saint Petersburg

Keywords: industrial geodesy, laser tracker, dynamic measurements

Annotation: Review and accuracy evaluation of dynamic measurements method using laser tracker Leica AT960 in application to determination of object's kinematic parameters during industrial robots' calibration and drop tests of space modules.

УДК 528.482, 528.74, 69.058.2

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОГО ЩЕЛЕМЕРА

А.Е. Войнаровский^{1,2*}, А.Б. Леонтьева¹, И.А. Лучкин²

*info@photogrammetria.ru

¹ООО «НПП «Фотограмметрия», Российская Федерация, Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, Санкт-Петербург