

УДК 629.783, 528.48

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАКЕТОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПРОЕКТА «ЛУНА-ГЛОБ» ПРИ ПРОВЕДЕНИИ БРОСКОВЫХ ИСПЫТАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ ЛАЗЕРНЫХ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ

В. В. Петров<sup>2</sup>, С. А. Защирицкий<sup>3</sup>, П. В. Клюшев<sup>1</sup>, Г. Б. Бузик<sup>2</sup>, Ю. В. Зуев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «НЦ ПЭ»

Российская Федерация, 190103, г. Санкт-Петербург, Рижский просп., 26, литер А

<sup>2</sup>ООО «Промышленная геодезия»

Российская Федерация, 199106, г. Санкт-Петербург, Большой просп. ВО, 84, литер А

<sup>3</sup>АО «Научно-производственное объединение имени С. А. Лавочкина»

Российская Федерация, 141402, г. Химки Московской области, ул. Ленинградская, 24

*Рассмотрены метрологические аспекты контроля линейной скорости, пространственного положения и ориентации макета КА проекта «Луна-Глоб» при проведении бросковых испытаний. Разработана и опробована на динамическом эталоне и натурном объекте методика определения динамических параметров объекта с помощью лазерного трекера Leica AT960.*

*Ключевые слова: бросковые испытания, проект «Луна-Глоб» лазерный трекер, Leica AT960.*

## DETERMINING PROJECT “LUNA-GLOB” OF SPACE MODULE KINEMATIC PARAMETERS DURING DROP TEST BY MEANS OF LASER TRACKER

V. V. Petrov<sup>2</sup>, S. A. Zashchirinsky<sup>3</sup>, P. V. Klushev<sup>1</sup>, G. B. Buzik<sup>2</sup>, Ju. V. Zuev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>“SCAE” Co JSC

Liter A, 26, Rizhskii Av., Saint-Petersburg, 190103, Russian Federation

<sup>2</sup>LLC “Industrial geodesy”

Liter A, 84, VO Grand Av., Saint-Petersburg, 199106, Russian Federation

<sup>3</sup>“Lavochkin Association” Co JSC

24, Leningradskaia Str., Khimki, Moscow region, 141402, Russian Federation

*The research covers metrology aspects of project “Luna-Glob” of space module model linear speed, position and orientation control during drop test. Method of object dynamic parameter determination using Leica AT960 laser tracker is developed and tested on dynamic etalon.*

*Keywords: drop test, project “Luna-Glob”, laser tracker Leica AT960.*

Рассмотрены метрологические аспекты контроля кинематических параметров – скорости, положения и ориентации макета посадочного модуля проекта «Луна-Глоб» (рис. 1) при проведении бросковых испытаний.



Рис. 1. Автоматическая межпланетная станция «Луна-Глоб»

«Луна-25», также известная как «Луна-Глоб», должна стать первой отечественной станцией, севшей на поверхность Луны, после запущенной в 1976 г. «Луны-24». Разработчики ставят перед собой цель разработать и испытать технологию мягкой посадки в приполярную область Луны (рис. 2). Дополнительная задача – исследования свойств лунного реголита в этой области.

Посадка должна произойти с вертикальной скоростью от 1,5 до 3 м/с, горизонтальной скоростью не более 1 м/с и углом отклонения продольной оси от гравитационной вертикали не более 7°.

В процессе подготовки новых российских миссий по изучению других планет на НПО им. С. А. Лавочкина, появилась необходимость в наземной отработке элементов конструкции посадочных модулей.

Для отработки режимов на стенде могут испытываться макет КА и имитатор макета КА. Имитатор макета изготавливается для проведения настройки режима сброса и отличается от макета КА упрощенным посадочным устройством.

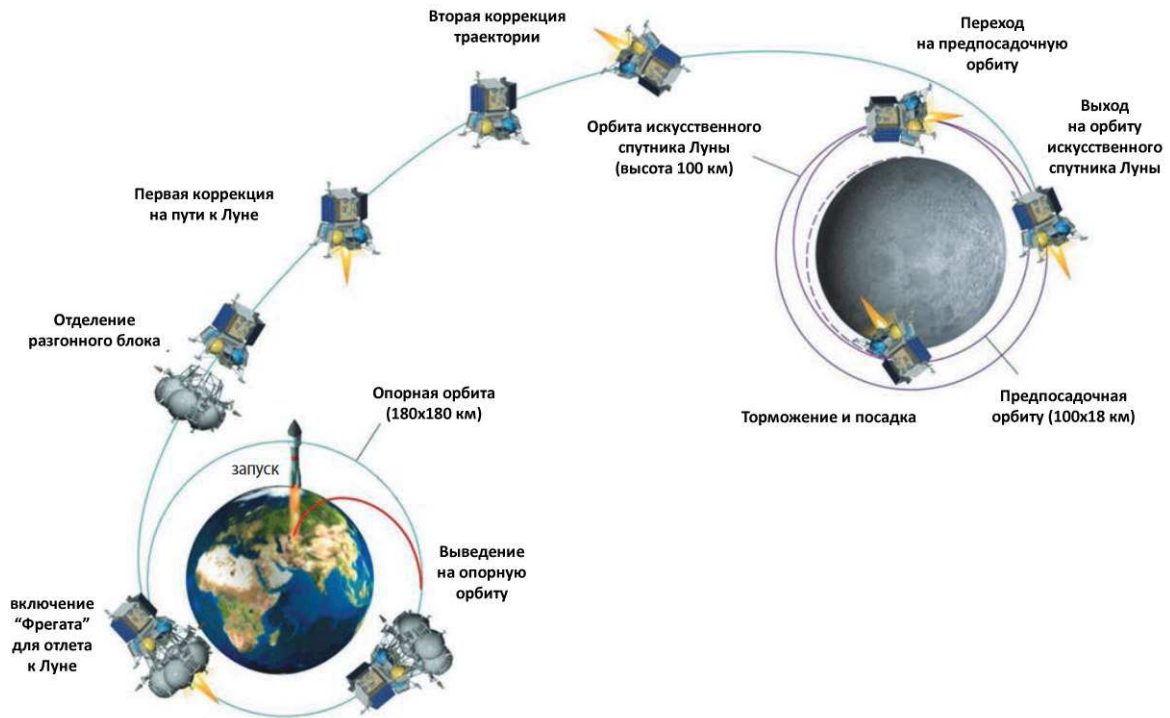


Рис. 2. Общее описание и план полета

Основной задачей разработки стендов является имитация кинематических параметров макетов КА в момент касания поверхности.

Стенды являются испытательным оборудованием, представляющие собой технические устройства для воспроизведения условий испытаний.

В соответствии с требованиями действующего законодательства РФ в области обеспечения единства измерений в августе 2017 г. стенды успешно прошли аттестацию, в ходе которой были определены соответствие нормированных точностных характеристик Стендов требованиям нормативно-технической документации на них.

При определении соответствия нормированных точностных характеристик Стендов использовались современные лазерные трекеры Leica AT960 способны выполнять измерение координат визирной цели с частотой 1000 Гц (рис. 3).

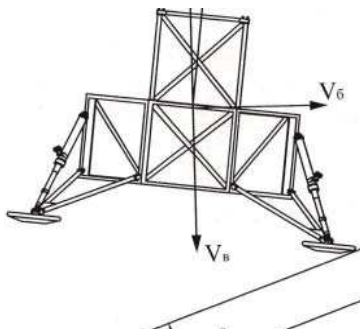


Рис. 3. Схема сброса макета космического аппарата

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

Испытания с целью аттестации методики измерений были проведены на государственном первичном эталоне ГЭТ 94–2001 «Государственный первичный эталон единиц линейного ускорения и плоского угла при угловом перемещении твердого тела» на базе ВНИИМ имени Менделеева. Эталон представляет собой центрифугу, период обращения которой известен с относительной погрешностью  $10^{-6}$ . Зная период обращения  $T$ , возможно вычислить угловую скорость  $\omega$  перемещения всех точек на плече центрифуги.

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

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

В процессе обработки результатов фактическая линейная скорость вычислялась для дуг окружности, опирающихся на угловые сектора в  $360^\circ$  (полный оборот),  $180^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $1^\circ$ , а также для дуг окружности, опирающихся на угол, равный  $(\varphi_{i+1} - \varphi_i)$  – разницы координат в цилиндрической системе для 2-х последовательных измерений  $i$  и  $i+1$  (рис. 4).

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

На основе экспериментальных исследований была разработана и аттестована методика измерения мгновенной скорости макетов космических аппаратов МВИ 18/001-2017 в соответствии с требованиями приказа Минпромторга РФ от 15.12.2015 г. № 4091.

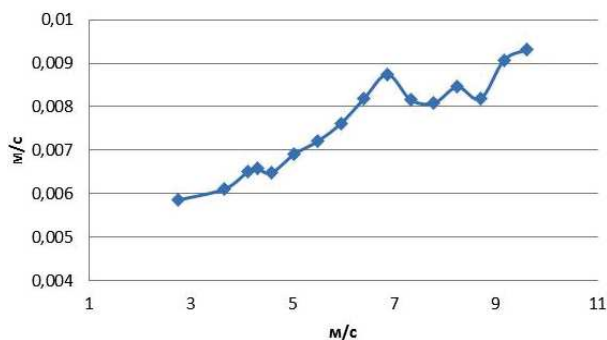


Рис. 4. SKO измерения линейной скорости

В процессе оценки точности, была вычислена SKO измерения линейной скорости для различных эталонных скоростей.

### Библиографические ссылки

1. Петров В. В. Обмер объектов крупного машиностроения в пространственных высотно-угловых сетях // Полезные ископаемые России и их освоение : сб. тр. науч.-практ. конф. СПб. : С.-Петербург. гос. горный ин-т, 1996. С. 165–175.
2. Описание типа средств измерений Системы лазерные координатно-измерительные Leica Absolute Tracker AT901, Leica Absolute Tracker AT402.

### References

1. Petrov V. V. [Measurement of engineering objects close in the spatial high-altitude-angular networks]. Materialy. nauch. konf. "Minerals of Russia and their development". SPGGI, SPb., 1996. Pp. 165–175.
2. A description of the type of measuring System laser measuring AT901 Leica Absolute Tracker, the Leica Absolute Tracker AT402.

© Петров В. В., Защиринский С. А., Клюшев П. В., Бузык Г. Б., Зуев Ю. В., 2017