

УДК 629.7.05

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛОМОМЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УПРАВЛЯЕМЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ-МАХОВИКОВ

© 2014 А.А. Денисова, О.В. Тверяков

ОАО «Научно-производственный центр «Полус», г. Томск

Поступила в редакцию 24.03.2014

Динамическая точность космических аппаратов с аппаратурой дистанционного зондирования Земли (в том числе малых) существенно зависит от уровня силовых и моментных возмущений, действующих со стороны работающих бортовых электромеханических устройств – инерционных исполнительных органов систем ориентации на базе управляющих двигателей-маховиков. С целью минимизации виброактивности и измерения возмущающих сил и моментов, обусловленных остаточной неуравновешенностью вращающегося ротора-маховика управляемых двигателей-маховиков, разработан измерительный модуль. Предложена методика определения возмущающих моментов, основанная на использовании экспериментально определяемых значений вибрационных сил.

Ключевые слова: *виброактивность, двигатель-маховик, датчик силы, возмущающий момент*

Снижение уровня вибрационного воздействия от работающих на борту космических аппаратов электромеханических приводных устройств, в том числе управляемых двигателей-маховиков (УДМ), содержащих вращающиеся части, является актуальной технической задачей, обусловленной ужесточением ограничений, вводимых предприятиями-разработчиками космических аппаратов. Минимизация виброактивности, под которой понимаются механические воздействия в виде сил и моментов, требует проведения как комплексных теоретических исследований на проектном этапе, включая компьютерное моделирование и инженерный анализ конструкции, так и экспериментальных измерений, направленных на изучение характера и уровня вибраций, создаваемых в процессе работы прибора, для уточнения и совершенствования реальной конструкции и «идеальной» модели, неизбежно отличающихся между собой. Экспериментальное определение возмущений позволяет получать более достоверные результаты, т.е. непосредственно контролировать штатное оборудование (УДМ). Кроме того, применение подобного метода оценки виброактивности даёт возможность аналитической оценки причин механической вибрации, что в дальнейшем может служить основой для разработки мероприятий,

направленных на введение конструктивных улучшений, обеспечивающих снижение уровня возмущений.

В настоящее время для экспериментального контроля возмущающих сил и моментов, передаваемых техническими устройствами на корпус прибора, широко используются силоизмерительные стенды (измерительные модули), с помощью которых решаются следующие задачи:

- измерение сил и моментов в местах крепления различных устройств, имеющих несбалансированные вращающиеся массы;
- отработка опытных образцов систем виброизоляции;
- измерение пусковых и вращательных моментов валов;
- балансировка роторных систем;
- получение исходных данных для исследования динамики различных устройств и конструкций.

Измерительный модуль (рис. 1) представляет собой платформу с 6 трехкомпонентными датчиками силы, установленную на виброизолированный фундамент, конструктивно обеспечивающий контроль вибрационных воздействий с частотами не ниже 3 Гц. Аппаратно-регистрирующая часть стенда образована измерительными усилителями заряда и 32-канальным анализатором вибрационных, акустических сигналов LMS SCADAS Mobile (Бельгия). Для калибровки и поверки измерительных усилителей, управления процессом измерений, осуществления сервисных функций, преобразования полученных с датчиков силы данных, выполнения

Денисова Анастасия Алексеевна, инженер-конструктор

Тверяков Олег Викторович, кандидат технических наук, начальник отделения электромеханики. E-mail: polus@online.tomsk.net

частотного анализа и преобразования Фурье использован персональный компьютер с предусмотренным служебным программным обеспечением, также разработанным фирмой LMS. Для выполнения вычислений и графической визуализации пространственных векторов сил, моментов сил, статических и динамических дисбалансов при постобработке данных, полученных в процессе измерений динамических характеристик, применяется специализированное программное обеспечение, разработанное для представленного модуля. Измерение значений силомоментных характеристик УДМ основано на

измерении электрических сигналов с выходов датчиков силы, прямо пропорциональных силам, которые создаются работающим УДМ и действуют в точках его крепления к установочной платформе. Испытываемый УДМ закрепляется с заданным моментом затяжки на установочной платформе при помощи специального крепежа, исключающего возможные повреждения посадочных мест. Закрепление производится таким образом, чтобы оси приборной системы координат OX и OY (лежащие в плоскости вращения маховика) совпадали с соответствующими осями механической платформы-основания.

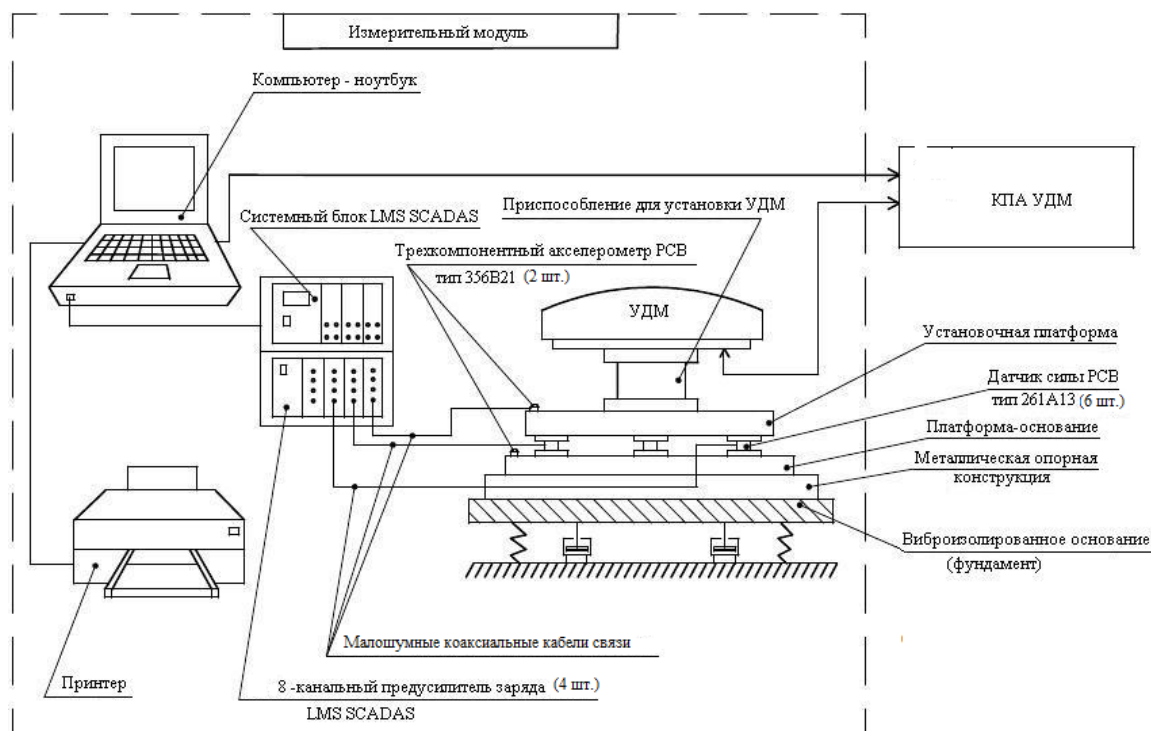


Рис. 1. Блок-схема измерительного модуля

Силы измеряются по каждой из трех ортогональных осей X , Y , Z в двух направлениях. Каждый датчик силы предварительно нагружен прецизионными комплектными приспособлениями, одно из которых крепится к платформе-основанию, а другое – к установочной платформе стенда. Сигналы с выходов датчиков силы, пропорциональные силе сжатия или растяжения, в реальном масштабе времени передаются по малошумным кабелям в систему LMS, служащую для их согласования, усиления и аналогово-цифровой обработки. Компьютер выполняет предварительную обработку, спектральный анализ, формирование массива данных динамических характеристик в виде спектров и временных реализаций. Математический алгоритм, реализованный в специализированном программном обеспечении разработанного модуля, основан на положении о равновесии пространственной

системы сил и связывает геометрические размеры, конфигурацию расположения датчиков и значения регистрируемых сил [1].

Согласно схеме расположения датчиков силы (рис. 2), применяемых в измерительном модуле (датчики 261A13 фирмы РСВ), уравнения для вычисления суммарных проекций сил, действующих вдоль осей приборной системы координат, имеют вид

$$F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} + F_{5x} + F_{6x};$$

$$F_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{4y} + F_{5y} + F_{6y};$$

$$F_z = F_{1z} + F_{2z} + F_{3z} + F_{4z} + F_{5z} + F_{6z},$$

уравнения для вычисления суммарных моментов, действующих относительно осей приборной системы координат:

$$\begin{aligned}
M_x &= a(F_{4z} + F_{3z} - F_{1z} - F_{6z}); \\
M_y &= b(F_{6z} + F_{4z} - F_{3z} - F_{1z}) + \\
&\quad + c(F_{5z} - F_{2z}); \\
M_z &= a(F_{1x} + F_{6x} - F_{4x} - F_{3x}) + \\
&\quad + b(F_{3y} + F_{1y} - F_{4y} - F_{6y}) + c(F_{2y} - F_{5y}),
\end{aligned}$$

где F_{ix} , F_{iy} , F_{iz} – проекции вибрационной силы на оси системы координат стэнда, регистрируемые соответствующими датчиками силы; M_x , M_y , M_z – амплитудные значения возмущающих моментов; a , b , c – расстояния, определяющие положение проекций геометрических центров датчиков силы относительно осей системы координат стэнда в плоскости XOY .

Исходя из измеренных сил и моментов сил на измерительном модуле рассчитываются дисбалансы по соотношениям:

– статический дисбаланс

$$\Delta_c = 10^6 \frac{F}{(2\pi f_{вр})^2},$$

где F – амплитуда суммарных значений силы, действующей по направлению соответствующей оси, Н; $f_{вр}$ – частота вращения ротора-маховика, Гц;

– динамический дисбаланс

$$\Delta_d = 10^9 \frac{M}{(2\pi f_{вр})^2},$$

где M – амплитуда суммарных значений моментов сил, действующих относительно соответствующей оси, Н·м.

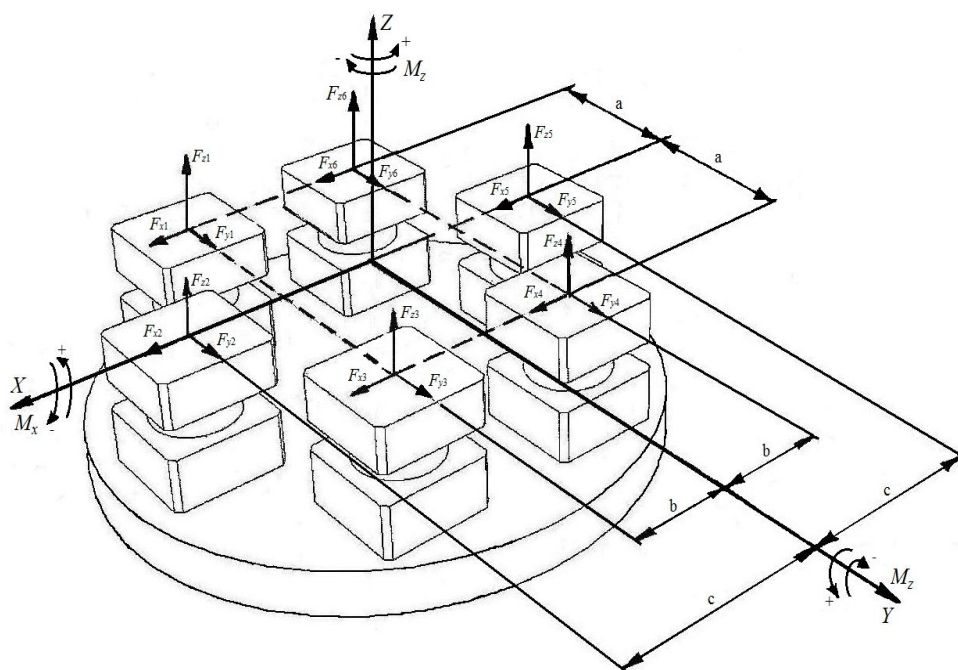


Рис. 2. Расположение датчиков силы для определения амплитуды моментов сил, действующих по осям УДМ

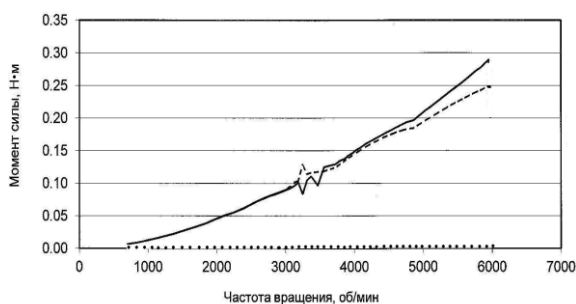


Рис. 3. Зависимость моментов сил, действующих по осям X (сплошная), Y (пунктир), Z (точки)

В результате получены зависимости возмущающих моментов, генерируемых УДМ, при

различных частотах вращения ротора (рис. 3), а также определены значения статического и динамического дисбалансов. При обработке экспериментально полученных результатов использованы значения сил, действующих вдоль осей OX , OY , OZ работающего УДМ.

Из графика (рис. 3) следует, что суммарные значения амплитуд моментов сил по осям OX и OY практически совпадают между собой, что соответствует увеличению центробежных сил ротора-маховика с остаточным дисбалансом по мере роста частоты вращения. Момент по оси OZ отсутствует. В диапазоне частот 3100-3600 об/мин имеются отклонения амплитуд моментов

сил. Выявление источника этих отклонений требует дополнительных исследований. Предварительное предположение – отклонения вызваны вибрацией наружных колец шарикоподшипников.

Выводы: внедрение экспериментального контроля возмущающих моментов создает предпосылки для повышения точности балансировки на этапе изготовления и совершенствования разрабатываемых приборов. Это делает

измерительный модуль эффективным инструментом, необходимым при создании электродвигателей-маховиков с минимальной виброактивностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бутенин, Н.В. Курс теоретической механики: в 2 т. / Н.В. Бутенин, Я.Л. Луиц, Д.Р. Меркин. – СПб.: Лань, 2004. 736 с.

THE MEASURING MODULE FOR DEFINITION THE FORCE AND MOMENT CHARACTERISTICS OF OPERATED ENGINE FLYWHEELS

© 2014 A.A. Denisova, O.V. Tveryakov

JSC “Research and Production Center “Polyus”, Tomsk

Dynamic accuracy of spacecrafts with the equipment of Earth remote sensing (including small ones) significantly depends on level of force and moment indignations operating from the party of working onboard electromechanical devices – inertial executive units of orientation systems on the basis of operating engine flywheels. For the purpose of minimization the vibroactivity and measurement of revolting forces and moments caused by residual unbalance of the rotating rotor flywheel of operated engine flywheels, the measuring module is developed. The technique for definition the revolting moments, based on using the experimentally defined values of vibration forces is offered.

Key words: *vibroactivity, engine flywheel, force sensor, revolting moment*