

УДК 629.78.054

ДИНАМИЧЕСКИЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ КА

Д. Е. Синицкий¹, А. В. Мурыгин²

¹ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52. E-mail: dimasik77@yandex.ru

²Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31. E-mail: avm514@mail.ru

Рассматривается принцип измерения управляющего момента двигателя-маховика на динамическом стенде измерения момента. Проведена оценка результатов функционирования стенда.

Ключевые слова: система ориентации и стабилизации, космический аппарат, двигатель-маховик, стенд, силовая компенсация.

DYNAMICAL WORKBENCH FOR SIGNATURE ANALYSIS AND OPERATING CONDITIONS OF FLYWHEEL ENGINE GROUP OF POINTING AND ATTITUDE CONTROL SYSTEMS OF SPACECRAFTS

D. E. Synitskiy¹, A. V. Murygin²

¹JSC "Information Satellite Systems" named after academician M. F. Reshetnev
52, Lenin street, Zhelenogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russia. E-mail: dimasik77@yandex.ru

²Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31 "Krasnoyarskiy Rabochiy" prospect, Krasnoyarsk, 660014, Russia. E-mail: avm514@mail.ru

The authors consider a measurement principle of measurement of dynamic moment of flywheel-engine group at a dynamic workbench for measurement of the moment and evaluate the results of the workbench operation data.

Keywords: attitude control system, spacecraft, flywheel-engine group, workbench, dynamical compensation.

Система ориентации и стабилизации (СОС) современных КА является сложной системой, состоящей из высокоточных приборов определения углового положения, измерения угловых скоростей КА и исполнительных органов. В качестве исполнительного органа систем ориентации и стабилизации, для создания динамических управляющих моментов по трем осям связанной с КА системой координат используются двигатели-маховики. Двигатели-маховики выполнены на основе управляемого моментного бесконтактного двигателя постоянного тока. Функции маховой массы выполняет ротор с постоянными магнитами, расположенными на максимально возможном диаметре, в двигателях-маховиках максимально снижены тормозные моменты. Электродвигатель обеспечивает реверсивное вращение ротора-маховика, его торможение, а величина создаваемого им вращающего (управляющего) момента при этом может плавно меняться в заданном диапазоне в соответствии с сигналом управления, подаваемым на вход двигателя-маховика.

При наземных лабораторных испытаниях современных СОС КА необходимо с высокой точностью производить измерения управляющего момента двигателя-маховика и контролировать его параметры.

На сегодняшний день для измерения динамического момента двигателя-маховика существует динамический стенд ИМ-15, разработанный в НППЦ «Полус»

[1]. Использовался на предприятиях аэрокосмического комплекса СССР.

Способ непосредственного измерения управляющего момента с использованием данных, полученных из блока электроники маховика, и разработанный в ОАО «ИСС», применяется в настоящее время в ОАО «ИСС» для исследования характеристик и режимов работы управляющих двигателей-маховиков.

При выборе метода измерения управляющего момента необходимо учесть следующие факторы:

– непрерывные испытания СОС КА проводятся в течение 8 часов;

– при испытании СОС одновременно могут работать три маховика, поэтому необходимо измерять моменты нескольких маховиков одновременно.

Принцип работы стенда измерения момента представлен на рис. 1.

Динамический момент, генерируемый УДМ 5, прикладывается через приспособление 4 к основанию 2. Основание, опираясь на три разнесенных друг от друга на определенных расстояниях датчика 3, вызывает деформацию чувствительного элемента каждого из датчиков. Датчики преобразуют деформацию в электрические сигналы, эквивалентные создаваемым усилиям, и передают их в блок обработки информации (БОИ). БОИ преобразует эти сигналы и производит операцию вычисления динамического момента, генерируемого ЭМИО.

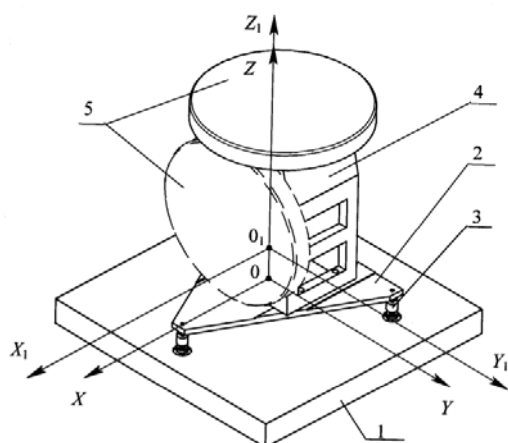


Рис. 1. Общий вид стенда ИМ-15:

1 – платформа для установки стенда; 2 – основание стенда; 3 – датчики деформации; 4 – приспособление для крепления управляющего двигателя-маховика; 5 – управляющий двигатель-маховик (УДМ)

В качестве чувствительного элемента стенда применяются датчики силы, работающие на основе пьезоэффекта. При измерении момента необходимо менять положение маховика, переставляя его из вертикального положения в горизонтальное.

При испытаниях СОС необходимо иметь возможность непрерывного измерения управляющего момента как одного двигателя-маховика, так и нескольких двигателей-маховиков одновременно, что не позволяет осуществить ИМ-15 разработанного НПЦ «Полюс».

До настоящего времени в ОАО «ИСС» динамический момент измерялся напрямую через блок электроники УДМ. С помощью ПО СОС и математического комплекса искомое значение момента выделяется из массива данных, поступающего из блока электроники, преобразуется и выводится на экран монитора.

Недостатки данного способа измерения момента:

- цена младшего разряда передаваемого массива данных может принимать высокое значение, что приведет к грубому определению момента;

- информация для определения момента берется из блока электроники, а не напрямую от маховика, проходит по каналу обмена через компьютер и математический комплекс, где так же возможны искажения информации и ошибки вычисления, что приведет к грубому или неточному определению момента.

Для разработки нового динамического стенда измерения управляющего момента, создаваемого двигателем-маховиком, используем метод силовой компенсации, заключающийся в создании противодействующего момента, равного неизвестному, измеряемому моменту.

Обобщенная блок-схема метода силовой компенсации [2] представлена на рис. 2.

Под действием момента M объект поворачивается вокруг оси подвеса, что фиксируется ДУ. Сигнал с ДУ поступает в БУ, где он преобразуется и корректируется и поступает на ДМ. ДМ развивает момент M_{OC} , который приложен к объекту и препятствует его пово-

роту. Когда объект повернется на некоторый угол φ датчик момента скомпенсирует момент M и момент остановится. Мерой момента является угол поворота.

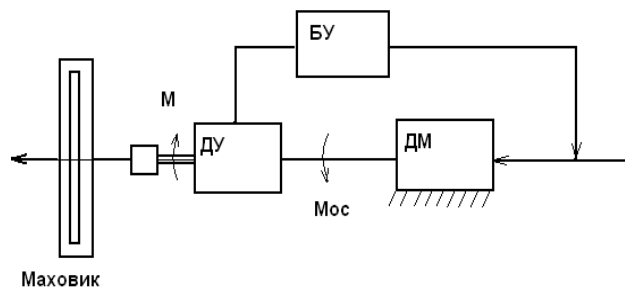


Рис. 2. Обобщенная блок-схема измерителя момента:

ДУ – датчик угла поворота маховика; ДМ – датчик момента; БУ – блок управления; M – управляющий момент, развиваемый маховиком; M_{OC} – момент датчика момента

Уравнение движения системы силовой компенсации имеет вид

$$\ddot{\varphi} = \frac{\Delta M}{Y_0}; \quad \Delta M = M - M_{OC}; \quad M_{OC} = \kappa_1 \cdot \varphi + \kappa_2 \cdot \dot{\varphi}, \quad (1)$$

где Y_0 – момент инерции стенда; κ_1 – коэффициент демпфирования (сопротивления) системы; κ_2 – коэффициент угловой жесткости системы; M – управляющий момент, создаваемый маховиком; M_{OC} – момент обратной связи, развиваемый датчиком момента.

Преобразуем (1) к виду

$$Y_0 \cdot \ddot{\varphi} + \kappa_1 \cdot \dot{\varphi} + (\kappa_2) \cdot \varphi = M \cdot \sin \omega t. \quad (2)$$

Используя особенности датчиков момента, а также определенные характеристики БУ, можно получить зависимость тока, протекающего в датчике момента от угла поворота φ , фиксируемого ДУ. Зная данную зависимость, можно определить искомый момент. Кроме того, используя метод силовой компенсации совместно со специализированной ЭВМ, можно измерить момент одновременно с четырех маховиков либо с отдельных маховиков, применяя к каждому из маховиков метод силовой компенсации.

Метод силовой компенсации позволяет непрерывно измерять момент, создаваемый маховиком. Также данный метод позволяет одновременно измерять момент, создаваемый четырьмя маховиками. При этом управляющий момент будет измеряться непосредственно от двигателя-маховика, а не из блока электроники. Используем метод силовой компенсации для разработки стенда измерения момента.

В ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» разработан стенд измерения динамического момента двигателя-маховика.

Обобщенная блок-схема динамического стенда измерения момента (ДСИМ) представлена на рис. 3.

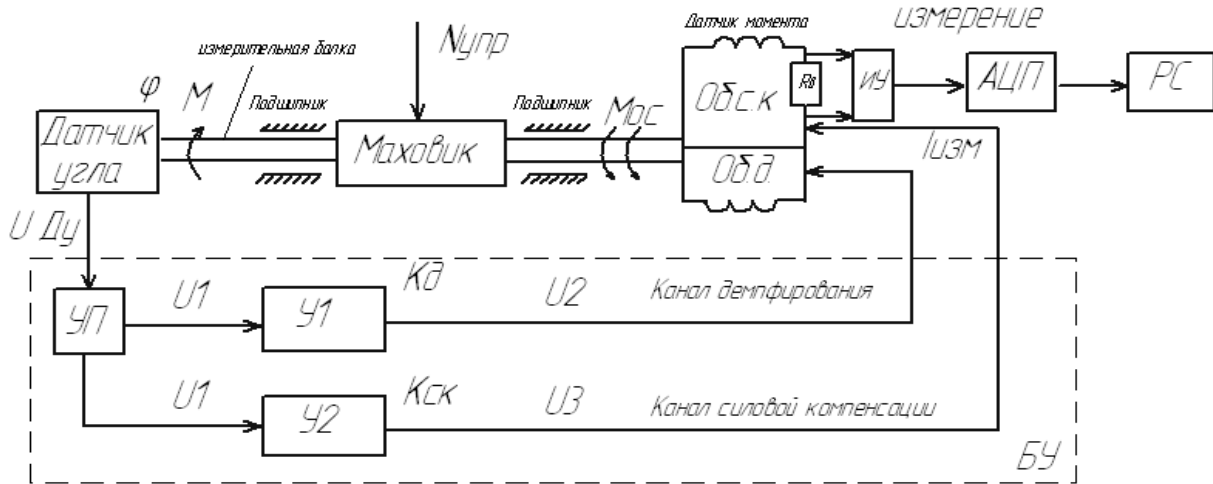


Рис. 3. Обобщенная блок схема ДСИМ:

$N_{упр}$ – код управления; M – управляющий момент, создаваемый двигателем-маховиком; φ – угол поворота измерительной балки; $U_{ДУ}$ – сигнал, создаваемый датчиком угла; БУ – блок управления; УП – предварительный усилитель; У1, У2 – усилители; Об.с.к. – обмотка силовой компенсации датчика момента; Об.д. – обмотка демпфирования датчика момента; M_{OC} – момент обратной связи; ИУ – измерительное устройство

При подаче управляющего кода $N_{упр}$ маховик создает управляющий момент M , приводящий к повороту измерительной балки в подшипниковых опорах на угол φ , что фиксируется датчиком угла. Сигнал $U_{ДУ}$ с датчика угла поступает в блок управления (БУ), где преобразуется и корректируется, а затем поступает на магнитоэлектрический датчик момента. БУ разбивает сигнал от ДУ на два сигнала. Первый служит для формирования канала демпфирования, второй – для формирования канала силовой компенсации. Оба сигнала поступают в датчик момента, который, исходя из полученной информации, создает момент обратной связи M_{OC} , который прикладывается к измерительной балке, тем самым компенсируя момент, создаваемый маховиком. При этом в обмотке силовой компенсации датчика момента будет протекать ток. Искомое значение тока замеряется с помощью измерительного устройства. Затем сигнал поступает в АЦП, где преобразуется и выводится на вычислительную ЭВМ (РС).

Блок управления обеспечивает требуемые для измерения управляющего момента коэффициенты угловой жесткости и демпфирования путем усиления, преобразования, коррекции сигналов датчика угла опоры до уровня и мощности, необходимых для работы датчика момента и измерения тока в его обмотке.

На рис. 4 пунктирной линией выделены части, входящие в блок управления. Вход блока управления соединен с выходом предварительного усилителя (УП), размещенного в непосредственной близости к датчику угла. Выходы БУ соединяются с датчиком момента, обмотка которого разделена на две части – обмотку силовой компенсации и демпфирующую обмотку. Разделение обмотки позволяет исключить искажения, вносимые корректирующими цепями, при измерении момента в динамических режимах. Блок

управления также имеет выходы для индикации и регистрации измеряемого момента, о величине которого судят по напряжению, создаваемому током в обмотке силовой компенсации на добавочном сопротивлении.

Блок состоит из усилителя-преобразователя, усилителя 1, усилителя 2, измерительного усилителя.

УП – усилитель-преобразователь – размещен в непосредственной близости к датчику угла и предназначен для усиления сигнала датчика угла (ДУ). Включает в себя усилитель переменного тока и демодулятор, так как датчик переменного тока, а корректирующие цепи и ДМ работают на постоянном токе. Также УП должен обеспечивать одновременную регулировку в обоих каналах и иметь возможность регулировки коэффициента передачи $K_{П}$:

$$U_1 = K_{П} \cdot U_{ДУ}.$$

Усилитель 1 (У1) предназначен для усиления сигнала $U1$ канала демпфирования, а также частотной коррекции системы силовой компенсации. Усилитель должен иметь защиту от перепада напряжения. Необходимо иметь возможность регулировки коэффициента передачи $K_{д}$:

$$I_1 = K_{д} \cdot \frac{U1}{R_{д}},$$

где $R_{д}$ – сопротивление обмотки демпфирования.

Усилитель 2 (У2) предназначен для усиления сигнала $U1$ канала силовой компенсации. Усилитель должен иметь защиту от перепада напряжения. Необходимо иметь возможность регулировки коэффициента передачи $K_{СК}$:

$$I_{изм} = K_{СК} \cdot \frac{U1}{R_{С}},$$

где $R_{С}$ – сопротивление обмотки силовой компенсации.

ИУ – измерительный усилитель – предназначен для измерения тока, протекающего в цепи обмотки силовой компенсации, путем измерения падения напряжения на добавочном сопротивлении.

Для преобразования значения тока в обмотке силовой компенсации датчика момента в значение искомого момента используем схему преобразования (рис. 4).

В испытаниях СОС КА, используются четыре УДМ, поэтому необходимо обеспечить возможность измерения M_d четырех УДМ одновременно, а также измерения момента отдельных УДМ. Для чего необходимо установить четыре ДСИМ (СИМ1, СИМ2, СИМ3, СИМ4) на каждый УДМ.

Для определения искомого значения M_d по значению $I_{изм}$ используется АЦП для преобразования аналогового сигнала $I_{изм 1}$, $I_{изм 2}$, $I_{изм 3}$, $I_{изм 4}$, измеренного с помощью измерительного усилителя, в цифровое значение $I_{преобр 1}$, $I_{преобр 2}$, $I_{преобр 3}$,

$I_{преобр 4}$, необходимое для вычисления M_d с помощью специализированного ЭВМ (РС).

Для оценки эффективности метода силовой компенсации проведены расчеты основных параметров и коэффициентов ДСИМ, произведен выбор элементов системы. Проведено моделирование функционирования стенда в разомкнутом контуре управления для измерения управляющих моментов современных двигателей-маховиков. Для этого в среде Matlab построены переходные процессы для УДМ и ДСИМ при различных входных воздействиях, по которым определена ошибка измерения момента. Структурная схема моделирования в разомкнутом контуре представлена на рис. 5. Результаты моделирования при ступенчатом входном воздействии приведены на рис. 6.

При ступенчатом воздействии переходные процессы имеют вид (рис. 6).

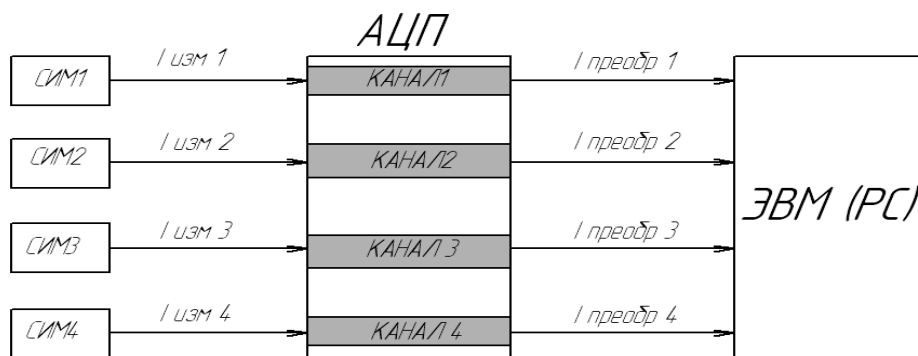


Рис. 4. Структурная схема преобразования выходного сигнала УДМ в искомое значение момента: СИМ1, СИМ2, СИМ3, СИМ4 – стенды измерения динамического момента, маховиков УДМ1, УДМ2, УДМ3, УДМ4; $I_{изм 1}$, $I_{изм 2}$, $I_{изм 3}$, $I_{изм 4}$ – токи, измеренные на добавочных сопротивлениях СИМ1, СИМ2, СИМ3, СИМ4; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; $I_{преобр 1}$, $I_{преобр 2}$, $I_{преобр 3}$, $I_{преобр 4}$ – цифровое значение токов $I_{изм 1}$, $I_{изм 2}$, $I_{изм 3}$, $I_{изм 4}$

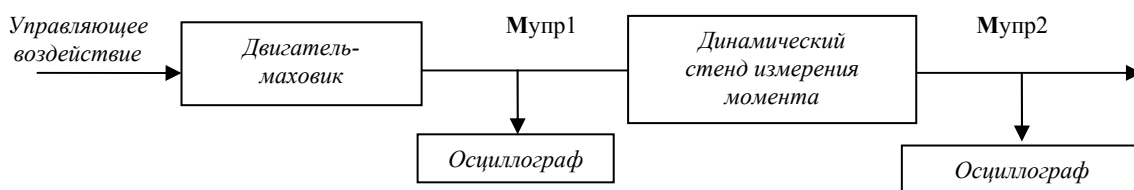


Рис. 5. Структурная схема моделирования в разомкнутом контуре

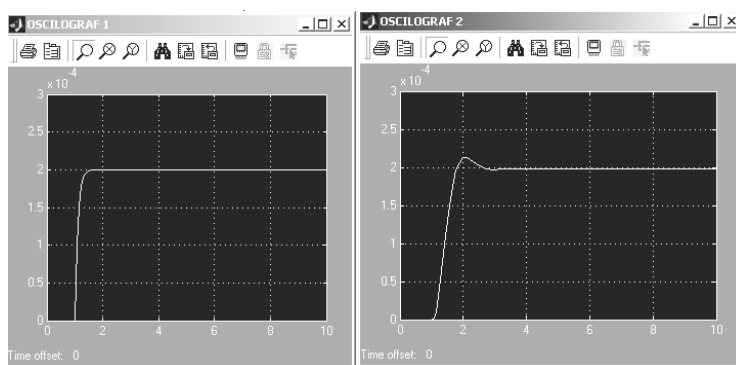


Рис. 6. Переходные процессы при ступенчатом входном воздействии

Сравним показания осциллографов 1 и 2, определим ошибку измерения момента, которая не превышает 1 %.

Таким образом, в результате исследования разработан стенд, способный производить непрерывное измерение управляющих моментов с четырех двигателей-маховиков, позволяющий исследовать основные характеристики и режимы работы УДМ. При этом данные о величине измеряемого момента измеряются непосредственно с двигателя-маховика, тем самым повышается точность измерений, исключаются ошибки вычисления, задержки. Динамический стенд измерения момента (ДСИМ) соответствует приведенным требованиям и наиболее подходит для измерения

управляющих моментов двигателей-маховиков в замкнутом контуре полунатурного моделирования при испытаниях СОС КА.

Библиографические ссылки

1. Кузина М. В., Сабинин И. С. Измеритель моментов ИМ-15 / НПЦ «Полюс». Томск, 2006.
2. Комплекс динамического моделирования систем управления подвижных объектов / А. В. Калганов, Н. В. Камашев, В. Я. Скорых, А. Н. Гормаков. Томск, 1983.

© Синицкий Д. Е., Мурыгин А. В., 2013

УДК 681.34

МОДЕЛЬ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ*

Р. Ю. Царев¹, А. Н. Пупков², М. А. Огнерубова¹, М. В. Сержантова¹, Н. А. Бесчастная¹

¹Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: rahatamatahata@mail.ru

²Сибирский федеральный университет
660074, Красноярск, ул. Киренского, 26а. E-mail: alex007p@yandex.ru

Рассматривается модель анализа надежности распределенных вычислительных систем с архитектурой клиент-сервер. Предложенная модель позволяет получить соотношения для показателей надежности распределенной вычислительной системы без каких-либо предположений о законах распределения случайных величин и числе элементов системы.

Ключевые слова: распределенные вычислительные системы, клиент-сервер, архитектура, надежность.

MODEL OF ANALYSIS OF DISTRIBUTED COMPUTING SYSTEMS RELIABILITY

R. Yu. Tsarev¹, A. N. Pupkov², M. A. Ognerubova¹, M. V. Serzhantova¹, N. A. Beschastnaya¹

¹Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31 "Krasnoyarsky Rabochy" prospect, Krasnoyarsk, 660014, Russia. E-mail: rahatamatahata@mail.ru

²Siberian Federal University
26a Kirenskiy street, Krasnoyarsk, 660074, Russia. E-mail: alex007p@yandex.ru

The paper presents a model of reliability analysis of distributed computing systems with client-server architecture. The proposed model allows to obtain correlation between reliability parameters of distributed computing system without any assumptions about the random variables distribution laws and the number of system elements.

Keywords: distributed computing systems, client-server, architecture, reliability.

Характерной особенностью многих клиент-серверных приложений (КС-приложений) современных распределенных вычислительных систем является их разнородность и рассредоточенность. При проектировании распределенных вычислительных систем имеется ряд специфических особенностей. Это, в первую очередь, зависимость архитектурной модели от ряда

нефункциональных системных требований, например, производительности, защищенности, безопасности, надежности [1]. При анализе архитектурных решений в рамках современных систем существенное значение для разработчика имеет возможность оценки архитектурной надежности КС-приложений как важной составной части системы [2].

* Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.В37.21.1872 «Синтез оптимальных катастрофоустойчивых распределенных вычислительных систем».