

Библиографические ссылки

1. Судов Е. В., Левин А. И. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России [Электронный ресурс] // НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика». URL: http://www.cals.ru/policy/material/concept_ipi.pdf (дата обращения: 02.04.2013).
2. Черепашков А. А., Носов Н. В. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении : учебник для студентов высш. учеб. заведений. Волгоград : Ин-Фолио, 2009.
3. Р.50.1.031–2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Ч. 1. Стадии жизненного цикла продукции : рекомендации по стандартизации / Госстандарт России. М. : Изд-во стандартов, 2001.
4. Андриченко А., Коптев А. Принципы интеграции PDM-систем и САПР технологических процессов [Электронный ресурс] // CAD/CAM/CAE Observer 2011. № 8 (68). URL: http://www.sdi-solution.ru/images/articles/principy_vzaimodeistviya.pdf (дата обращения: 02.04.2013).
5. Вертикаль. Система автоматизированного проектирования технологических процессов. Руководство пользователя. 2008 [Электронный ресурс]. URL: http://sd.ascon.ru/ftp/Public/Documents/Vertical/VERTICAL_V3/VERTICAL_V3_.pdf (дата обращения: 02.04.2013).

References

1. Sudov E. V., Levin A. I. *Kontseptsiya razvitiya CALS-tekhnologiy v promyshlennosti Rossii* (Conception

of development of CALS technologies in Russia). Research center of CALS technologies «Prikladnaya logistika». Moscow, 2002. Available at: http://www.cals.ru/policy/material/concept_ipi.pdf (accessed 02 April 2013).

2. Cherepashkov A. A., Nosov N. V. *Komp'yuternye tekhnologii, modelirovanie i avtomatizirovannye sistemy v mashinostroenii* (Computer technologies, design, modeling and computer-aided systems in mechanical engineering). Textbook for higher school students. Volgograd, Publishing House «In-Folio», 2009, 640 p.

3. Р.50.1.031-2001 *Informatsionnye tekhnologii podderzhki zhiznennogo tsikla produktsii. Terminologicheskiy slovar'.* Chast' 1. *Stadii zhiznennogo tsikla produktsii* (Information technologies of life cycle of production support. Glossary. Part 1. Phases of life cycle of production). Recommendations for standardization; State Standard of Russia, Moscow. IPK Izdatel'stvo standartov, 2001, p. 27.

4. Andrichenko A., Koptev A. *CAD/CAM/CAE Observer*. 2011, no. 8 (68). Available at: http://www.sdi-solution.ru/images/articles/principy_vzaimodeistviya.pdf (accessed 02 April 2013).

5. *Vertikal'. Sistema avtomatizirovannogo proektirovaniya tekhnologicheskikh protsessov* (Vertikal. Computer-aided system of design of technological processes). User's manual. 2008. Available at: http://sd.ascon.ru/ftp/Public/Documents/Vertical/VERTICAL_V3/VERTICAL_V3_.pdf (accessed 02 April 2013).

© Бикчентаев А. А., 2013

УДК 629.78

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

С. А. Елубаев, Н. К. Джамалов, К. А. Алипбаев, А. С. Сухенко, Т. М. Бопеев

Дочернее товарищество с ограниченной ответственностью «Институт космической техники и технологии» акционерного общества «Национальный центр космических исследований и технологий» Республика Казахстан, 050063, Алматы, ул. Кисловодская, 34. E-mail: alipbaev.k@istt.kz

В настоящее время имитационное моделирование в области проектирования космических систем является популярным средством для решения задач тестирования, проверки функциональности и отработки основных режимов работы систем управления космического аппарата. В данной статье изучены вопросы функционирования системы управления движением КА под воздействием внешних возмущающих факторов космической среды и управляющих сил и моментов с помощью имитационного моделирования. В связи с этим в Республике Казахстан силами отечественных специалистов проведены работы по разработке имитационных моделей систем управления КА, что позволит создать собственную научно-техническую базу для разработки систем управления движением и навигацией с учетом последних достижений науки и техники.

Ключевые слова: космический аппарат, система управления движением, имитационное моделирование.

SIMULATION MODELING OF THE MAIN COMPONENTS OF MOTION CONTROL SYSTEM OF THE SATELLITE

S. A. Yelubayev, N. K. Jamalov, K. A. Alipbayev, A. S. Sukhenko, T. M. Bopeyev

Subsidiary limited partnership "Institute of Space Technique and Technologies"
of cooperative association "National Center of Space Research and Technologies"
34 Kislovodskaya st., Almaty, 050063, Republic of Kazakhstan. E-mail: alipbaev.k@istt.kz

At the present time simulation modeling is the popular tool for solution of problems of inspection of functionality and trial of the main modes of satellite control. The main task of this article is study of operation of motion control system of satellite under the influence of perturbing factors of space environment and control forces with the help of simulation modeling. In this regard the works on the development of simulation models of satellite control systems was carried out by home specialists in the Republic of Kazakhstan, which will allow to create the local scientific and technical basis for the development of motion control systems and navigation systems with the account of the latest achievements of science and technology.

Keywords: spacecraft, motion control system, simulation modeling.

При движении космического аппарата (КА) по орбите на него действуют возмущающие факторы космической среды, такие как несферичность Земли, гравитационное влияние Луны, Солнца и планет, аэродинамическое сопротивление атмосферы Земли, магнитное поле Земли, силы давления солнечного света. Учет всех этих факторов при изучении движения космического аппарата является довольно сложной задачей. Кроме того, возникают задачи формирования управляющих воздействий с целью компенсации этих возмущений, изменения параметров орбиты или пространственной ориентации космического аппарата. Для нормального функционирования космического аппарата также необходимо решать вопросы энергоснабжения, связи с наземным комплексом управления и целый ряд других задач. Создание имитационных моделей значительно облегчает эти задачи. Для моделирования основных систем управления космического аппарата на данный момент существует большое количество специального программного обеспечения, которое, однако, не позволяет вносить изменения в код в соответствии с собственными требованиями. Следовательно, разработка собственных имитационных моделей систем управления КА позволит создать программно-математический аппарат для исследования и моделирования систем управления КА различного назначения. В данной статье рассматривается имитационная модель основных компонентов системы управления движением космического аппарата, разработанная в среде MathWorks MatLab/Simulink силами специалистов Института космической техники и технологий [1].

Разработанная имитационная модель, представленная на рис. 1, состоит следующих модулей: Environment, TotalForceAndMoment, Satellite, GroundControlStation, ReportingBlock, VisualizationBlock.

Модуль Environment представляет собой имитационную модель космической среды, представленной Землей, Луной и Солнцем. Входными параметрами модуля являются параметры космического аппарата (параметры орбиты, вектор положения и вектор скорости движения центра масс, угловое положение и угловая скорость движения относительно центра масс, массогабаритные и геометрические параметры космического аппарата). Выходными параметрами являются векторы сил и моментов сил от возмущающих

воздействий космической среды и параметры космической среды. Внутренняя структура модуля показана на рис. 2 и состоит из блоков Earth, Moon и Sun.

Блок Earth (рис. 3) представляет собой модель Земли и состоит из подблоков GravitationalField, AtmosphereField, MagneticField и Perturbation.

Подблоки GravitationalField, AtmosphereField и MagneticField представляют собой соответственно модели гравитационного поля, атмосферы и магнитного поля Земли и содержат внутреннюю структуру, построенную в соответствии с международными стандартами EGM2000, CIRA-96 и IGRF2010. В подблоке Perturbation формируется общее влияние Земли на движение космического аппарата.

Блок Moon представляет собой имитационную модель Луны, а блок Sun – имитационную модель Солнца, которые производят расчет гравитационных влияний Луны, Солнца и влияния сил давления солнечного света на движение космического аппарата.

В модуле TotalForceAndMoment формируются результирующие силы от возмущающих факторов космической среды и управляющих сил, сформированных системой управления, и моменты этих сил, действующие на движение космического аппарата [1].

Модуль Satellite представляет собой имитационную модель космического аппарата. Входными параметрами модуля являются возмущающие и управляющие силы и моменты, параметры космической среды и параметры наземного комплекса управления. Выходными параметрами являются параметры космического аппарата: параметры движения (вектор положения, вектор скорости), параметры ориентации (угловое положение и угловая скорость), масса, геометрические параметры, параметры системы ориентации, параметры системы связи, параметры системы энергоснабжения – и управляющие воздействия, сформированные системой управления [2]. В этом модуле для каждого изучаемого космического аппарата необходимо отдельно задавать массогабаритные и геометрические параметры космического аппарата.

Внутренняя структура модуля Satellite представлена на рис. 4 и содержит блоки Motion, OrientationSystem, OnBoardSystem Emulator, CommunicationsSystem, PowerSystem.

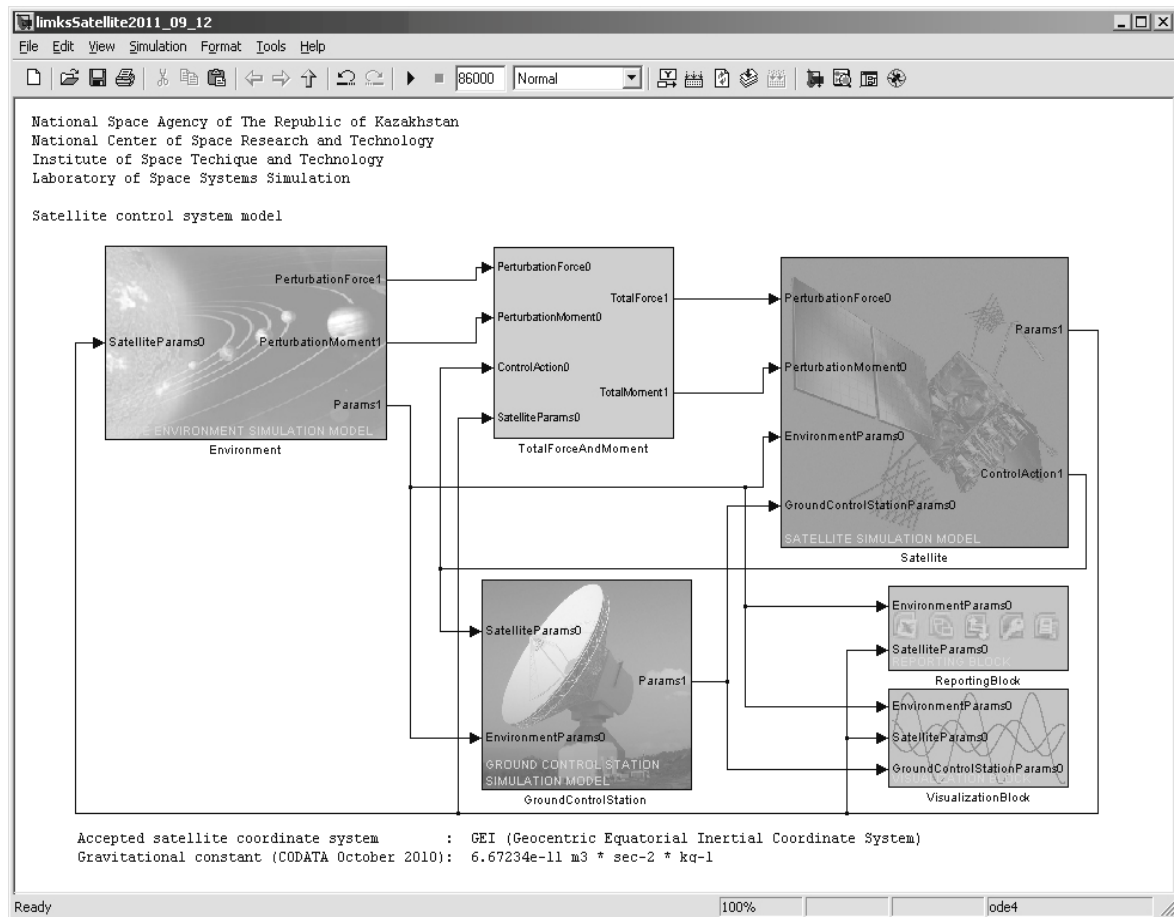


Рис. 1. Имитационная модель системы управления движением космического аппарата

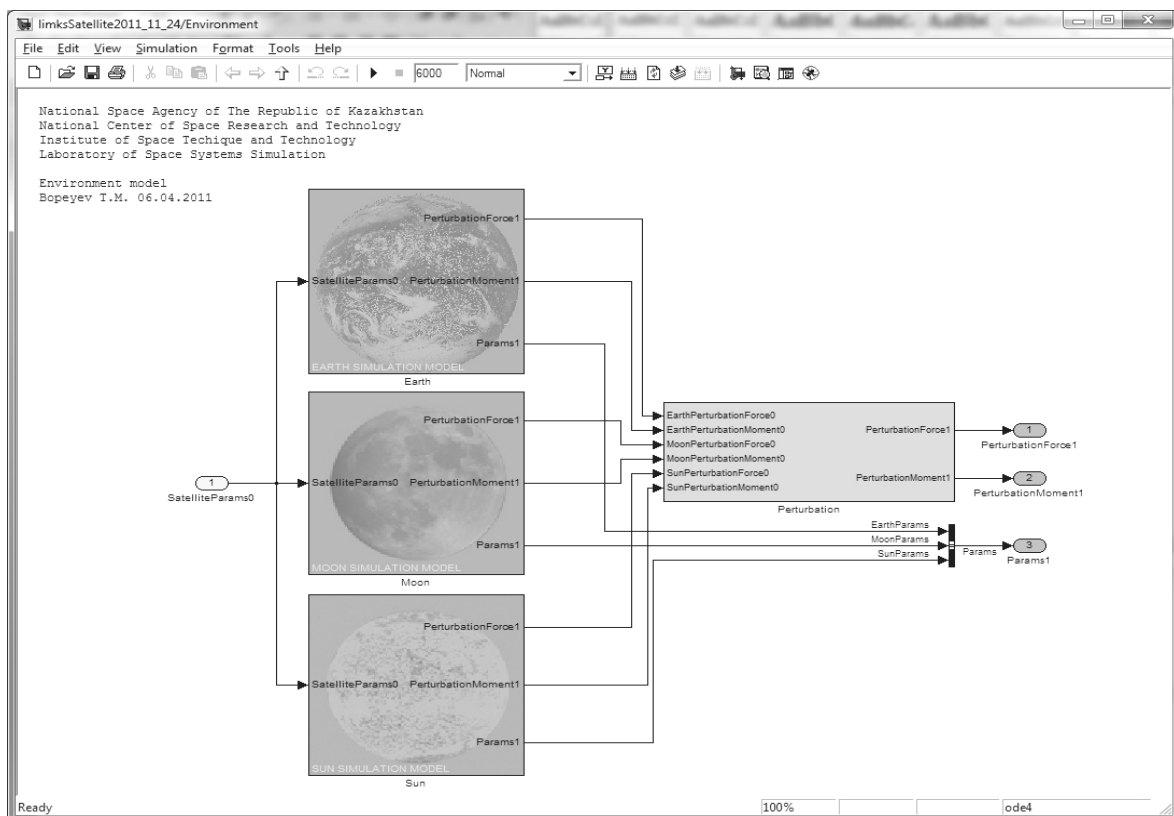


Рис. 2. Имитационная модель космической среды

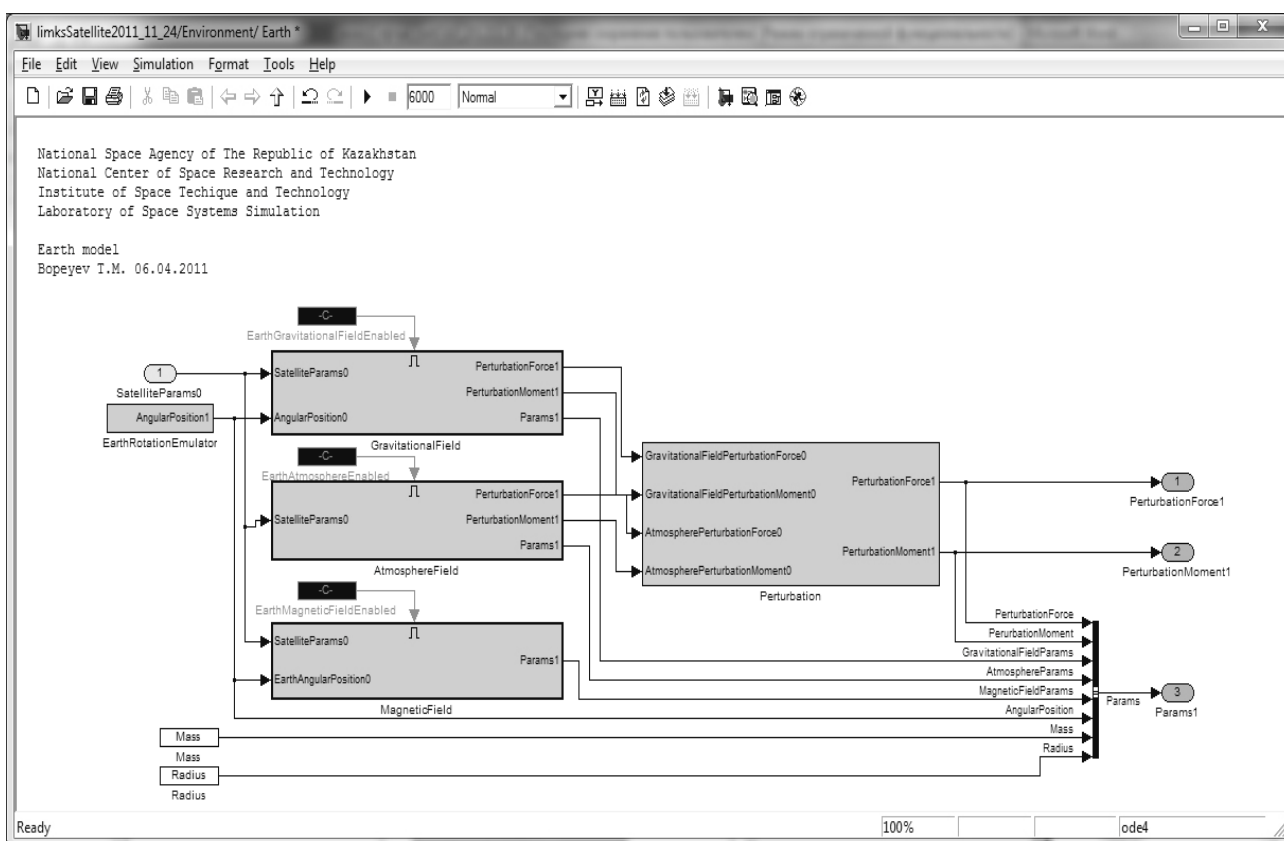


Рис. 3. Имитационная модель Земли

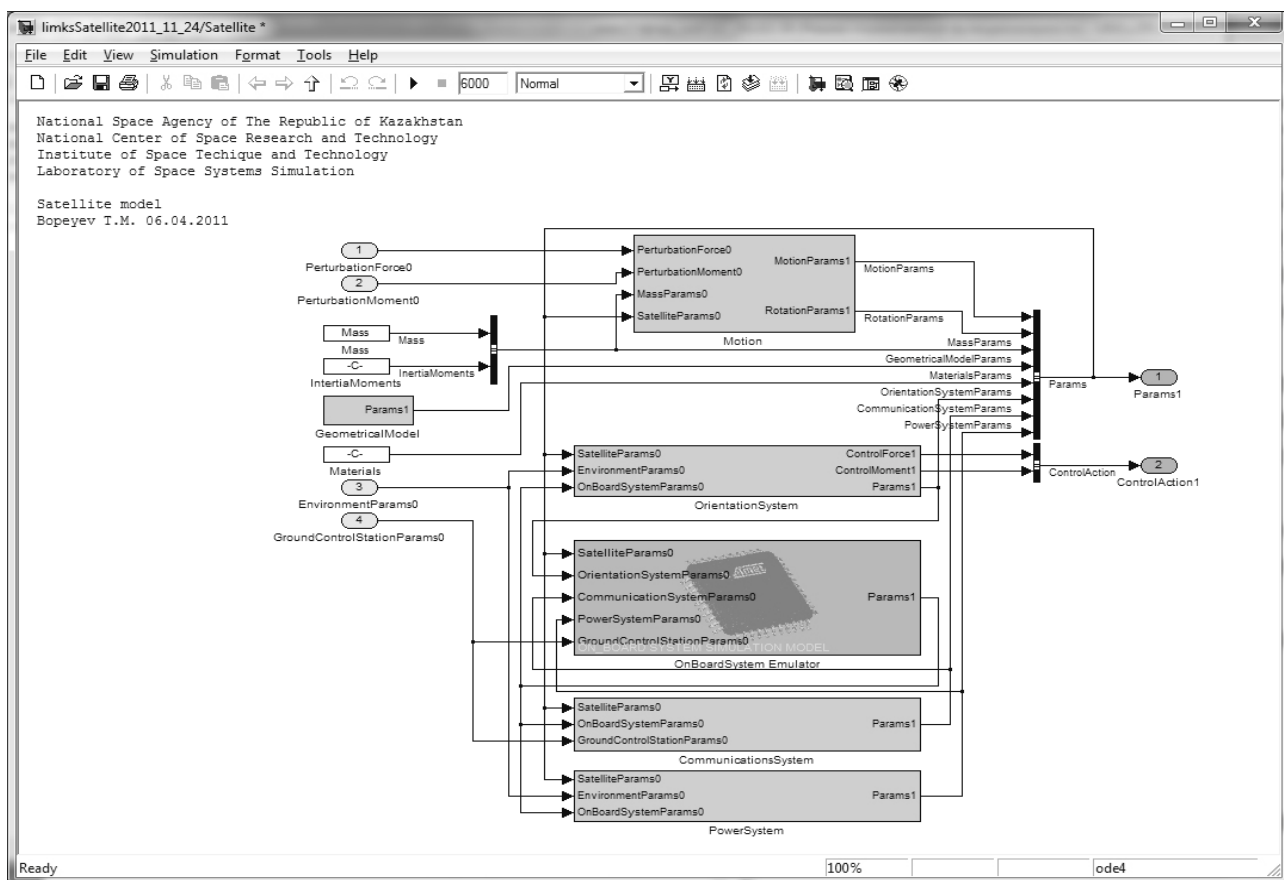


Рис. 4. Имитационная модель космического аппарата

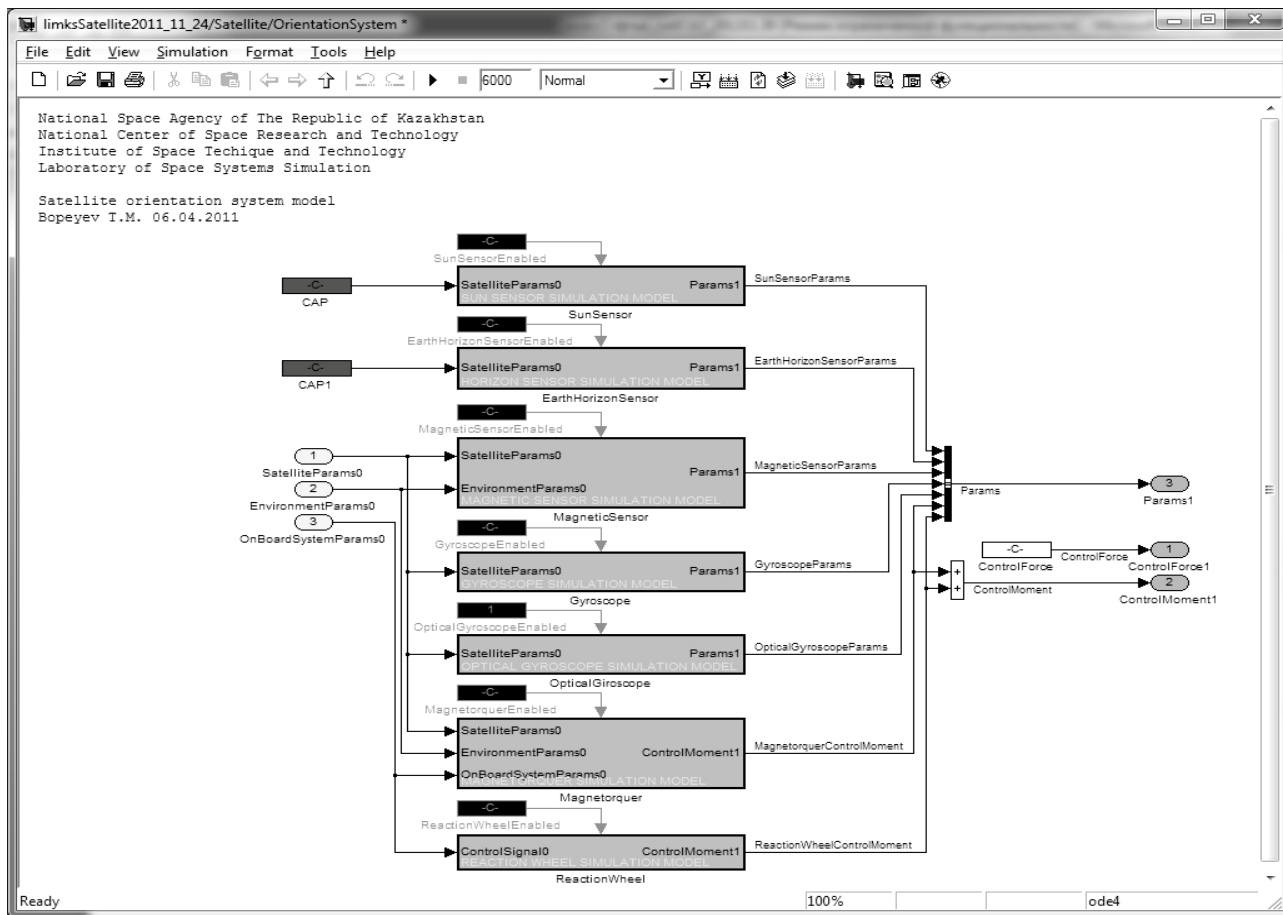


Рис. 5. Имитационная модель системы ориентации космического аппарата

Блок Motion моделирует движение как центра масс космического аппарата, так и движение космического аппарата относительно центра масс с учетом возмущающих и управляющих сил [3]. Блок содержит внутреннюю структуру, выполненную в соответствии с общими законами движения центра масс и относительно центра масс космического аппарата.

Блок OrientationSystem представляет собой модель системы ориентации космического аппарата. Внутренняя структура блока приведена на рис. 5 и представлена моделями солнечного датчика SunSensor, датчика горизонта Земли EarthHorizonSensor [4], магнитного датчика MagneticSensor, механического гироскопического датчика Gyroscope, оптического гироскопического датчика OpticalGyroscope [5], электромагнитного исполнительного органа Magnetorquer и инерционных исполнительных органов-маховиков ReactionWheel. Таким образом, блок представляет собой набор моделей датчиков ориентации и исполнительных органов системы ориентации [2]. Та или иная модель датчиков или исполнительных органов по желанию пользователя может быть включена или исключена из модели системы ориентации. Выходные параметры моделей датчиков ориентации подаются на вход модели бортового комплекса управления, где управляющие воздействия моделируются в соответ-

ствии с заданными законами управления и подаются на входы моделей исполнительных органов.

Блок OnBoardSystem Emulator моделирует работу бортового комплекса управления. На вход блока подается информация от всех остальных блоков космического аппарата, а на выход – управляющие воздействия для модели системы ориентации, системы связи и системы энергоснабжения. Таким образом, блок является замкнутой системой.

Блок CommunicationsSystem моделирует работу системы связи с наземным комплексом управления. Блок содержит внутреннюю структуру, которая моделирует работу приема-передающих устройств.

Блок PowerSystem представляет собой имитационную модель системы энергоснабжения космического аппарата. Блок также содержит внутреннюю структуру, моделирующую работу солнечных и аккумуляторных батарей.

Модуль GroundControlStation представляет собой имитационную модель наземного комплекса управления, внутренняя структура которой также представлена моделями приема-передающих устройств.

Кроме того, модель содержит дополнительные модули. Модуль ReportingBlock служит для экспорта результатов имитационного моделирования движения космического аппарата в различные форматы данных

для их последующей обработки и анализа. Модуль VisualizationBlock предназначен для графического представления результатов имитационного моделирования движения космического аппарата [3].

Таким образом, разработаны имитационные модели внешних возмущений, влияющих на движение КА как центра масс, так и относительно центра масс: модель гравитационных сил и моментов Земли, Луны и Солнца, модель аэродинамических сил и моментов, модель сил и моментов солнечного давления. Для изучения вопросов управляемого движения КА относительно центра масс разработаны имитационные модели различных датчиков ориентации КА (гироскопический датчик, магнитный датчик), имитационные модели инерционных (маховики) и электромагнитных исполнительных органов, а также бортового комплекса управления, формирующего управляющие сигналы для исполнительных органов на основе информации, полученной от имитационных моделей датчиков ориентации. Проведены работы по проверке адекватности работы данных имитационных моделей. Разработанные модели могут быть использованы как для изучения поведения КА в реальных условиях космоса, так и при проектировании системы управления движением КА для определения ее основных параметров.

Библиографические ссылки

1. Моделирование движения центра масс космического аппарата с использованием среды MatLab-Simulink / М. М. Молдабеков, Н. К. Джамалов, К. А. Алипбаев и др. // Прикл. космич. исслед. в Казахстане. Серия «Казахстан. космич. исслед.». 2010. Т. 6. С. 150–154.
2. Моделирование движения космического аппарата относительно центра масс в среде MatLab/Simulink / М. М. Молдабеков, Н. К. Джамалов, С. А. Елубаев, А. С. Сухенко // Современная астрофизика: традиции и перспективы : материалы III Фесенк. чтений. Алматы, 2010. С. 81–83.
3. Прогнозирование движения космического аппарата на основе имитационного моделирования / С. А. Елубаев, Н. К. Джамалов, К. А. Алипбаев и др. // Космические технологии: настоящее и будущее

(Передовые космические технологии на благо человечества) : материалы III Междунар. конф. Днепрпетровск, 2011. С. 25–26.

4. Модель датчика горизонта земли / С. А. Елубаев, Н. К. Джамалов, К. А. Алипбаев и др. // Космос на благо человечества – взгляд в будущее : материалы Междунар. конф. Астана, 2011. С. 132–134.

5. Моделирование гироскопических датчиков / С. А. Елубаев, Н. К. Джамалов, К. А. Алипбаев и др. // Тез. докладов I Междунар. Джолдасбек. симп. Алматы, 2011. С. 59–60.

References

1. Moldabekov M. M., Jamalov N. K., Alipbayev K. A., Bopayev T. M., Yelubayev S. A., Sukhenko A. S. *Prikladnye kosmicheskie issledovaniya v Kazahstane. Seriya "Kazahstanskije kosmicheskie issledovaniya"*. Almaty, 2010, vol. 6, pp. 150–154.
2. Moldabekov M. M., Jamalov N. K., Yelubayev S. A., Sukhenko A. S. *Materialy III Fesenvkovskih chtenij "Sovremennaja astrofizika: tradicii i perspektivy"* (Materials III Fesenvkovskih reads "Modern Astrophysics: Traditions and Prospects"). Almaty, October 4–5, 2010, pp. 81–83.
3. Yelubayev S. A., Jamalov N. K., Alipbayev K. A., Bopayev T. M., Sukhenko A. S. *Materialy 3 Mezhdunarodnoy konferentsii "Kosmicheskiye tekhnologii: nastoyashcheye i budushcheye"* (Peredovyye kosmicheskiye tekhnologii na blago chelovechestva) (Proc. of 3rd Int. Conf. "Space Technology: Present and Future" (Advanced Space Technologies for the benefit of humanity). Dnepropetrovsk, Dnepropetrovsk, 2011. pp. 25–26.
4. Yelubayev S. A., Jamalov N. K., Alipbayev K. A., Bopayev T. M., Sukhenko A. S. *Materialy mezhdunarodnoy konferentsii "Kosmos na blago chelovechestva – vzgljad v budushcheye"* (Int. Conf. "Space for the benefit of mankind – a look into the future"). Astana, 2011, pp. 132–134.
5. Yelubayev S. A., Jamalov N. K., Alipbayev K. A., Bopayev T. M., Sukhenko A. S. *Tezisy dokladov I mezhdunarodnogo Dzholdasbekovskogo simpoziuma* (Abstracts of the I int. Symp. Dzholdasbekovskogo). Almaty, 2011, pp. 59–60.

© Елубаев С. А., Джамалов Н. К., Алипбаев К. А., Сухенко А. С., Бопеев Т. М., 2013