

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2018.2-56.4>
УДК 629.78

В. Н. Спиридонов, кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної математики та інформатики
Університету митної справи та фінансів
С. А. Разгонов, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних систем и технологій
Університету митної справи та фінансів

ПРО ОДНУ ЗАДАЧУ МОДЕЛЮВАННЯ БОРТОВОЇ УПРАВЛЯЮЧОЇ СИСТЕМИ КОСМІЧНОГО АПАРАТУ

У підсистемі формування командно-програмної інформації космічних апаратів різного призначення реалізовано підхід, що полягає у вирішенні задачі прогнозу стану бортових систем космічних апаратів для сформованої програми управління на моделі бортової апаратури космічного апарата. Результати моделювання призначені для подання повної інформації про стани бортових систем операторам сектора управління під час штатного управління космічних апаратів, при передачі управління черговим змінами, для аналізу нештатних ситуацій. Однак даний підхід можна застосувати до космічних апаратів, які реалізують командно-часовий і програмно-командний методи управління космічних апаратів. Для космічних апаратів, що реалізують більш складний програмно-координатний метод управління, даний підхід не застосовується. Це обумовлено тим, що часова програма управління при цьому методі управління формується на борту космічного апарата бортовою управляючою системою, що має в своєму складі електронно-обчислювальні машини.

У статті розглядається задача моделювання формування часової програми управління бортовою управляючою системою космічного апарата. Запропоновано алгоритм моделювання формування детермінованої складової часової програми управління космічного апарата. Розглянуто дії операторів сектора управління космічного апарата в разі виникнення нештатних ситуацій з управління космічного апарата, коли рішення по управлінню бортовою апаратурою приймаються бортовою управляючою системою.

Ключові слова: моделювання формування часової програми управління космічного апарата; моделювання бортової керуючої системи космічного апарата.

© В. Н. Спиридонов, С. А. Разгонов, 2018

В подсистеме формирования командно-программной информации космических аппаратов (КА) различного назначения реализован подход, заключающийся в решении задачи прогноза состояния бортовых систем КА для сформированной программы управления в модели бортовой аппаратуры (БА) КА. Результаты моделирования предназначены для представления полной информации о состоянии бортовых систем для операторов сектора управления при штатном управлении КА, при передаче управления очередным дежурным, для анализа нештатных ситуаций. Однако данный подход можно применить к КА, реализующим командно-временной и программно-командный методы управления КА. Для КА, реализующих более сложный программно-координатный метод управления, данный подход не применяется. Это обусловлено тем, что временная программа управления при этом методе управления формируется на борту КА бортовой управляющей системой (БУС), имеющей в своем составе ЭВМ.

В статье рассматривается задача моделирования формирования временной программы управления бортовой управляющей системой КА. Предложен алгоритм моделирования формирования детерминированной составляющей временной программы управления КА. Рассмотрены действия операторов сектора управления КА в случае возникновения нештатных ситуаций по управлению КА, когда решения по управлению бортовой аппаратурой принимаются БУС.

Ключевые слова: моделирование формирования временной программы управления КА; моделирование бортовой управляющей системы КА

In the subsystem of forming of command-program information the approach consisting in the task decision of spacecraft onboard systems states prognosis for the formed control program on a model is realized. The modeling results are intended for the presentation of complete information about the spacecraft onboard systems states to the operators of control sector during the normal spacecraft control, to the control transfer by duty groups, analysis of abnormal situations. Summarizing the results it can be argued that the modeling of the deterministic component of control program of various space crafts with program-coordinate control is possible in principle. It is also possible modeling of programs of onboard control system operating in abnormal situations. There is a limitation due to the inability to accurately predict the manner and time of their occurrence. However, when abnormal situations take place and the onboard control system has executed their parrying this information may be obtained in the "OCS report". As a result of analysis of the report, the operator can manually correct the states of the corresponding elements in the model of onboard equipment. In that case the OCS cannot alone perform the parrying of abnormal situation the onboard equipment state information at a given time can be transmitted to ground control center. It is necessary to perform the analyze of abnormal situation and take appropriate measures to parrying it due to the actual and forecasted information about

the functioning of onboard equipment. Therefore, this restriction does not preclude to the using of the proposed methodology for the spacecraft program- coordinate control. The modeling algorithm of forming of the control program determined constituent offers. The actions of control sector operators are considered in that case of abnormal situations appearance when control decisions are made by the spacecraft onboard control system.

The areas development of application of predictive models on-board equipment to solve the problems of analysis, decision-making and parrying of abnormal situations in the spacecraft control circuit is a perspective area of research.

Key words: modeling of the spacecraft control program forming; modeling of the spacecraft onboard control system.

Постановка проблеми. Одним з основних напрямків розвитку систем управління космічними апаратами (КА) є підвищення рівня автоматизації процесу управління КА. Одним з варіантів реалізації даного напрямку є застосування програмно-координатного методу управління КА, який передбачає перенесення частини функцій наземного комплексу управління на бортовий комплекс управління КА. Зокрема, мова йде про формування на борту КА часової програми управління (ЧПУ) бортовими системами, яку виконує бортова управляюча система КА. Відсутність інформації в секторі управління КА, як про саму програму управління, так і про зміну стану бортових систем КА і режимах їх роботи під дією команд істотно знижує якість управління КА.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для управління рядом КА різного призначення запропонований підхід [1], що полягає у вирішенні завдання прогнозу стану бортових систем КА для сформованої програми управління на моделі бортової апаратури КА. Результати моделювання призначені для подання повної інформації про стани бортових систем операторам сектора управління під час штатного управління КА, передачі управління черговим змінами, для аналізу нештатних ситуацій.

В рамках реалізації і розвитку даного підходу запропоновані методики та алгоритми розв'язання деяких задач управління КА [2, 3], що реалізовані у вигляді універсального програмного комплексу формування інформації для управління КА. Комплекс пройшов практичну апробацію і був включений до складу спеціального програмного забезпечення підсистеми формування командно-програмної інформації (КПІ) ряду космічних апаратів різного призначення.

Розглянута методологія управління застосовна для КА командно-часового та програмно-командного управління [4], які передбачають формування часової програми управління в наземному комплексі управління

КА. Однак вона не може бути застосована для управління КА, що реалізують програмно-координатний метод управління [5], при якому часова програма управління бортовими системами КА формується бортовим комплексом управління КА.

Мета статті – постановка і рішення задачі моделювання формування часової програми управління, що виконується бортовою управляючою системою КА, для застосування в контурі управління КА програмно-координатного методу управління.

Виклад основного матеріалу.

В даний час все більшого поширення набуває програмно-координатний метод управління КА. Метод передбачає формування на борту КА часової програми управління з використанням координат цілей і пунктів прийому інформації. Реалізація цього методу управління можлива за допомогою бортової управляючої системи, що має в складі бортову цифрову обчислювальну машину. Програмне забезпечення БУС формує часову програму управління (ЧПУ) за вхідними даними, що періодично закладаються на борт КА, і координатами об'єктів, що зберігаються в ПЗУ БУС [6]. Вхідними даними для розрахунку є плани-завдання на роботу бортових систем КА, що періодично надходять від замовників одержуваної інформації. На їх основі операторами формуються плани-завдання на роботу систем, що забезпечують їх роботу.

Для вирішення поставленого завдання необхідно моделювати роботу БУС в частині формування часової програми управління. Роботи по постановці і вирішенню даної задачі в літературі відсутні.

Як завдання моделювання, розглядається задача імітації роботи бортової управляючої системи в частині формування часової програми управління бортовими системами КА типу "Ресурс-О" за вхідними даними, які передані в КПШ та зберігаються в ПЗУ БУС.

Програми БУС в частині формування режимів роботи бортових систем являють собою жорсткі та гнучкі програми управління. Кожна програма БУС реалізує один з режимів роботи бортової системи. Для гнучких програм часи видачі команд щодо початку циклу управління, наприклад, розрахункового часу перетину екватора або часу початку режиму роботи БС, що задається у вхідних даних, можуть варіюватися в залежності від розв'язуваних цільових завдань. Можуть варіюватися і номери команд управління.

При побудові моделі алгоритму використовувалися наступні проектні рішення:

1. З метою зменшення залежності моделюючих алгоритмів і програм від реальних алгоритмів і програм БУС, коригування яких можливе в процесі розробки математичного забезпечення БУС, моделюючий алгоритм виконаний у вигляді окремих процедур.

2. Кожна процедура моделює роботу однієї бортової системи або групи взаємопов'язаних систем, наприклад, бортового інформаційного комплексу (БІК). При цьому процедури алгоритмів окремих режимів роботи, наприклад, безпосередньої передачі, запису та відтворення БІК, виконані у вигляді окремих блоків алгоритму.

3. Формування більшості режимів роботи бортових систем виконується в залежності від поточних розрахункових координат КА, координат цілей і ППШ, на які скидається отримана інформація. Для реалізації режиму у вхідних даних повинен бути вказаний номер цілі або номер взятий з ППШ.

4. Для режимів роботи БС, формування програм управління якими виконується без урахування координат, наприклад, для проведення операцій фазування коду і підстроювання частоти (ФКПЧ), має бути вказано час початку режиму. У вхідних даних можуть бути задані і деякі характеристики режимів роботи, наприклад, варіанти тривалості та/або інформативності режимів.

5. Для виключення залежності моделюючих алгоритмів і програм від даних, всі дані, що використовуються при вирішенні задачі моделювання, згруповані в два набори даних: “Режими роботи БС” і “Команди БУС”.

У наборі даних “Режими роботи БС” все згруповано за наступними змінними або їх комбінаціями (наприклад, якщо задано номер ППШ, то діапазон довгот не встановлено):

РР – режим роботи БС;

ВД – варіант тривалості або інформативності режиму;

ППШ – номер взятий з ППШ;

ДН, ДК – початок і кінець діапазону довгот проведення режиму, вибирається з запису набору даних, що містить часові характеристики заданого варіанту режиму роботи:

ДЛ – тривалість проведення режиму;

ТН – відносний час початку режиму;

ТК – відносний час закінчення режиму.

Якщо умова не виконується ні для одного запису набору даних, оператору видається повідомлення про неправильне завданні режиму роботи. Таким чином, завдання моделювання виконує додатково функцію контролю планів-завдань на роботу БС.

Часові характеристики режимів використовуються для розрахунку часу видачі команд включення і виключення режимів.

У наборі даних “Команди БУС” зберігаються номери команд включення (КВ) і виключення (КЗ) для кожного режиму роботи (РР) і варіанту тривалості (або інформативності) режиму (ВД). У наборі даних за заданим значенням вибирається запис, що містить команди включення і виключення режиму роботи БС. При відсутності запису з такими умовами, оператору видається повідомлення про некоректність вихідних даних.

Схема моделюючого алгоритму приведена на рис. 1.



Рис 1. Схема моделюючого алгоритму

Моделюючий алгоритм передбачає виконання таких операцій:

1) послідовне звернення до процедур моделювання режимів роботи БС, при цьому кожною процедурою виконуються наступні операції:

- звернення до відповідного масиву плану-завдання на роботу бортової системи і послідовне зчитування рядків масиву, при цьому для кожного рядка масиву виконується виклик процедури “Вибір даних”;

- процедура “Вибір даних” виконує пошук записів в наборах даних “Режими роботи БС” і “Команди БУС” за параметрами режиму роботи БС, наведеними в рядку плану-завдання;

- отримані дані використовуються процедурою “Формування робочого набору даних” для формування записів робочого набору даних “Програма управління КА”, що містять такі реквізити:

Д – дата видачі команди;

ВР – розрахунковий час видачі команди;

НК – номер виданої команди (КВ або КО);

РР – режим роботи БС;

П – ознака видається команди (БУС або РКНІ);

2) після закінчення циклу обробки всіх рядків плану-завдання, виконується підключення наступної процедури режиму роботи БС;

3) після відпрацювання всіх процедур моделювання режимів роботи БС (частина їх складу приведена на рис. 1) сформований робочий набір даних “Програма управління КА”. Записи набору даних сортуються в порядку зростання дати і часу;

4) після формування робочого набору даних “Програма управління КА” процедура “Формування вихідного набору даних” доповнює записи робочого набору даних “Програма управління КА” службовою інформацією “Плану управління КА”.

При моделюванні роботи БУС можуть виникнути ситуації, коли частина інформації поточної програми управління може бути сформована при моделюванні попередньої програми управління КА. Це можливо для деяких режимів роботи БС, що перевищують за тривалістю декілька витків, наприклад, при моделюванні роботи корегуючої рухової установки (КДУ). Для врахування таких ситуацій потрібно скорегувати вихідний набір даних попередньої “Програми управління КА” та вибрати записи, які стосуються поточного інтервалу. Ці записи зчитуються в робочий набір даних “Програми управління КА” і впорядковуються в порядку зростання дати і часу видачі команд. Результати моделювання представляються операторам сектора управління у вигляді документа “Програма управління КА”.

Розроблена методологія успішно пройшла апробацію при випробуваннях і підготовці до експлуатації спеціального програмного забезпечення КА типу “Ресурс-О” програмно-координатного управління.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Узагальнюючи отримані результати можна стверджувати, що принципово можливо моделювання детермінованої складової часової програми управління КА програмно-координатного типу управління. Можливо також моделювання роботи програм БУС, що функціонують при виникненні нештатних ситуацій, однак, обмеження виникає в зв’язку з неможливістю точного прогнозування характеру і часу їх виникнення. Проте, при виникненні нештатних ситуацій в тих випадках, коли БУС виконала їх парирування, ця інформація може бути отримана в “звіті БУС”. В результаті аналізу звіту оператор може вручну скоригувати стани відповідних елементів в моделі БА. У тому випадку, якщо БУС самостійно не може виконати парирування нештатної ситуації, за сигналом “Виклик НКУ” може бути отримана інформація про стан всіх елементів БА на даний момент часу. На підставі отриманої реальної і прогнозованої інформації про функціонування БА необхідно виконати аналіз нештатної ситуації і вжити відповідних заходів для її парирування. Тому розглянуте обмеження не перешкоджає використанню запропонованої методології при управлінні КА програмно-координатного типу управління.

Розвиток напряму застосування прогнозуючих моделей бортової апаратури для вирішення завдань аналізу, прийняття рішень і парирования нештатних ситуацій в контурі управління КА є перспективним напрямком досліджень.

Список використаних джерел:

1. *Конюхов С. Н.* Об одной задаче моделирования полета космического аппарата / С. Н. Конюхов, А. Г. Меланченко, В. Н. Спиридонов // Ракетно-космическая техника. Сер. 1 – 1989, Вып. 2. – С. 32–37.
2. *Спиридонов В. Н.* Метод моделирования дискретных динамических систем с постоянной структурой / В. Н. Спиридонов // Проблемы управления и информатики. – 2010, № 6. – С. 55–62.
3. *Спиридонов В. Н.* К вопросу применения модели в контуре автоматизированного управления сложным техническим объектом / В. Н. Спиридонов, С. А. Разгонов // Вестник Академии таможенной службы Украины. Сер. Технические науки. - 2013, №1 (49). С. 84-87.
4. *Брега А. Н.* Командно-программное управление полетом Российского сегмента МКС / А. Н Брега, А. А. Коваленко // Космическая техника и технологии. – 2016, № 2 (13). – С. 90–104.
5. *Беляев М. Ю.* Научные эксперименты на космических кораблях и орбитальных станциях. – М. : Машиностроение, 1984. – 264 с.
6. *Микрин Е. А.* Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. – 336 с.

References:

1. Konyukhov S. N., Melanchenko A. G., Spiridonov V. N. About one task of modeling of space vehicle flight // Space-rocket technique. Series. 1 – 1989, is. 2. – P. 32–37.
2. Spiridonov V. N. Modeling method of discrete dynamic systems with constant structure // Journal of Automation and Information Sciences, 2010, Issues 6 – P. 55–62.
3. Spiridonov V. N., Razgonov S. A. To question of models in automated control circuit of complex technical object // Announcer of Academy of custom service of Ukraine. – 2013. – № 1 (49). – P. 84–87.
4. Brega A. N. Command and program flight control of the ISS Russian Segment / A. N Brega, A. A. Kovalenko // Space engineering and technology. – 2016, No. 2 (13). P. 90–104.
5. Belyaev M. Yu. Scientific experiments on spaceships and orbital stations. – M. : Mechanical Engineering, 1984.- 264 p.
6. Mikrin E. A. Onboard spacecraft control systems and their software design. – M. : MSTU. N. E. Bauman, 2003. – 336 p.