

УДК 629.78

В.Н. СПИРИДОНОВ

*Днепропетровская государственная финансовая академия, Украина***МЕТОДИКА ВЕРИФИКАЦИИ ПРОГРАММ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ**

*Предложена методика верификации программ управления космического аппарата. Методика обеспечивает решение ряда задач контроля с использованием модели бортовой аппаратуры КА. Модель объекта предназначена для решения задачи прогноза состояния бортовой аппаратуры КА. Используемый метод моделирования базируется на описании функционирования объекта в пространстве состояний переходными функциями состояния. В статье рассмотрены типовые, наиболее распространенные функции контроля ограничений по управлению бортовой аппаратуры КА. Методика прошла апробацию и была использована при управлении нескольких КА.*

**Ключевые слова:** моделирование сложных систем, метод переходных функций, верификация программ управления космического аппарата

**Введение**

В современной технике нашел широкое применение класс сложных технических объектов, предназначенных для автономного выполнения специальных заданий в течение определенного времени без связи с устройствами управления. Управление такими объектами осуществляется с помощью программ управления, периодически записываемых в программное устройство объекта. К данному классу можно отнести космические аппараты, межпланетные станции, роботы, гибкие производственные системы и другие объекты. Важной задачей для обеспечения эффективности и качества управления такими объектами является контроль правильности (верификация) программ управления. Например, ошибки, допущенные при формировании программ управления космическими аппаратами (КА), могут привести к невыполнению поставленных целевых задач, срыву сеансов связи, а в некоторых случаях и потере объекта. В связи с тем, что объекты управления становятся все более сложными, как по составу и выполняемым функциям, так и по управлению, актуальность данной задачи возрастает.

Известным способом верификации программ управления является имитация отработки сформированной программы управления на модели перед передачей её на объект. В работе [1] модель объекта предназначена для выдачи сообщений об ошибках при переходе состояний объекта в область запрещенных состояний. Для моделирования объекта применен метод конечных автоматов, что позволило представить в модели лишь ограниченное число бортовых систем объекта. Кроме того, ограничен и состав выполняемых проверок. Например, задача

контроля выполнения целевых задач этой моделью не решается.

В работе [2] обоснован подход, заключающийся в решении задачи прогноза состояния бортовых систем КА для сформированной программы управления на модели объекта. Результаты моделирования предназначены для представления полной информации о состояниях объекта операторам сектора управления во время управления объектом, передаче управления дежурными сменами, анализе нештатных ситуаций, возникших при управлении объектом. Для обеспечения полноты прогноза необходимо представить в модели все бортовые системы и команды управления объектом. Для моделирования сложных объектов решение задачи прогноза требует применения и других методов моделирования объектов.

При решении задачи прогноза состояния сложных систем возникает проблема размерности модели. Одним из методов теории систем, позволяющих существенно снизить размерность модели, является применение переходных функций для описания переходов в пространстве состояний системы. В работе [3] предложен метод моделирования одного из классов сложных систем - дискретных динамических систем с постоянной структурой. Математическая модель управления системы с постоянной структурой в пространстве состояний представлена таблицей переходных функций и набором переходных функций, описывающих правила переходов элементов системы в пространстве состояний.

В работе [4] рассмотрена задача моделирования данного класса сложных технических объектов методом переходных функций. В соответствии с задачей исследования выбрано формализованное

пространство состояний элементов объекта, представляющее собой совокупность трех видов технического состояния: функционирования, резервирования, работоспособности. Рассмотрены переходные функции элемента объекта моделирования в этом пространстве состояний.

### Постановка задачи

Постановка задачи управления полетом КА при проведении научных экспериментов с позиции теории систем приведена в работе [5]. Задача сформулирована следующим образом. Необходимо для каждого события  $t_0, \vec{x}_0$  определить управление  $\vec{u}(t)$  из области допустимых управлений  $U \subset Z$ . Найденное управление  $\vec{u}(t)$  преобразует событие  $t_0, \vec{x}_0$  таким образом, что множество значений пересекается с целевым множеством

$$f[t, t_0, \vec{x}(t_0), \vec{u}(t_0)], \delta[t, \vec{x}(t_0)] \cap P_0, \quad (1)$$

где  $f$  - функция переходов,

$\delta$  - функция выходов.

$P_0$  - целевое множество.

С учетом того, что представление целевого множества  $P_0$  для КА является достаточно громоздким, а значения выходных сигналов определяются состояниями БА, можно перейти от рассмотрения целевого множества к области целевых состояний БА. Тогда задачу достижимости целевых состояний в терминах теории множеств можно представить в виде

$$F: X_0 \times T_0 \times U \times T \cap X_{ц} \times T_{ц}, \quad (2)$$

Задача формулируется следующим образом: найденное управление  $U$  преобразует начальное состояние системы  $X_0$  в начальный момент времени  $T_0$  таким образом, что множество состояний системы достигает заданных целевых состояний  $X_{ц}$  в заданные моменты времени  $T_{ц}$ .

Для выбранного управления можно сформулировать и обратную задачу: обеспечивает ли выбранное управление  $U$  достижение требуемых целевых состояний  $X_{ц}$  в моменты времени  $T_{ц}$  из начального состояния  $X_0$  в моменты времени  $T_0$ ? Левая часть выражения (2) представляет собой задачу прогноза состояния сложной системы. Если в качестве выбранного управления рассматривать программу управления КА, то выражение (2) представляет собой формулировку задачи верификации программ управления КА по заданным целевым состояниям.

Во время решения конкретной целевой задачи используется часть научной и обеспечивающей аппаратуры. К тому же частота и продолжительность решения целевых задач для КА различного назначения может существенно отличаться. Поэтому верификация программ управления КА по целевым состояниям носит ограниченный характер, хотя и является очень важной. Более широкое применение может найти задача верификации программ управления КА по области запрещенных состояний [1], поскольку она может быть актуальной для любого элемента и подсистемы БА на всем этапе ее эксплуатации. Однако, при решении данной задачи не применим подход, предложенный в работе [1], заключающийся в рассмотрении области всех возможных состояний объекта и разбиения её на области допустимых и запрещенных состояний. Это обусловлено астрономической размерностью пространства состояний объекта. Кроме того, необходимо классифицировать состав выполняемых проверок, а также решить вопрос о способе задания области запрещенных состояний. В общем виде задача верификации программ управления КА по области запрещенных состояний может быть представлена следующим образом:

$$F: X_0 \times T_0 \times U \times T \cap X_s \times T, \quad (3)$$

где  $X_s$  - область запрещенных состояний объекта.

Другим направлением верификации программ управления на основе прогноза состояния БА является направление, связанное с определением прогнозируемого расхода ресурса бортовых систем. Ресурс может быть рассчитан по изменению состояний функционирования этих систем. Расчет расхода ресурса бортовых систем КА позволяет более рационально его использовать, а также определить моменты достижения выработки ресурса заданным допустимым значениям. Для систем, имеющих невозполнимый ресурс, связанный с расходом некоторого рабочего тела, например, фотопленки, топлива двигательной установки и т.п., по значениям удельного расхода ресурса в единицу времени и времени функционирования системы, может быть рассчитан расход ресурса системы и определен факт нахождения его в допустимых пределах. В случае восполняемого ресурса систем, например, при зарядке аккумуляторных батарей системы энергоснабжения от солнечных батарей, ресурс систем является переменной по времени величиной и некоторой функцией восполнения ресурса, зависящей для рассматриваемого примера от ориентации панелей солнечных батарей относительно Солнца. В этом случае нахождение ресурса бортовых систем в заданных пределах должно контролировать-

ся в каждый момент времени, в котором происходит как расход ресурса, так и его восполнение.

Подобным образом может рассматриваться ресурс элементов БА, связанный с их надежностью. Поэтому в ряде случаев выход ресурса элементов БА за пределы допустимого говорит о невозможности, начиная с некоторого момента времени, дальнейшего использования этих элементов. Это ограничение может рассматриваться как ограничение на управление: оно приводит к расширению области запрещенных состояний. В некоторых случаях управление этими элементами может быть продолжено или принято решение о переключении на резервные комплекты элементов БА.

Другим направлением верификации программ управления на основе прогноза состояния БА является направление, связанное с разработкой методов и алгоритмов представления результатов моделирования. Методической основой его является достигнутая полнота решения задачи прогноза: выходная таблица прогноза содержит все изменения состояний каждого элемента БА в интервале расчета. Алгоритмы представления результатов моделирования предназначены для выделения из таблицы прогноза состояния существенной информации и представления ее в форме, удобной для восприятия операторами сектора управления. Полученные результаты могут быть использованы для визуального контроля операторами программы управления. Данный вид контроля предназначен, прежде всего, для нахождения механических ошибок, допущенных операторами при формировании программ управления.

В данной статье бортовая аппаратура КА рассматривается как система, имеющая особенности моделирования и математическую модель, представленные в работе [3]. В данной статье также используются результаты, представленные в работе [4], по выбору формализованного пространства состояний элементов объекта и описания переходных функций БА. В статье используются термины и определения, используемые в работах [3] и [4].

## Результаты исследования

В соответствии с выполненной постановкой задачи, методика верификации программ управления КА представляет собой совокупность нескольких задач контроля, основой которых является прогноз состояния бортовой аппаратуры КА. Задача верификации программы управления по целевым состояниям включает следующую последовательность операций.

1. Перед контролем первой программы управления должна быть подготовлена и введена в состав

технологических исходных данных таблица, содержащая следующую информацию:

- список имен контролируемых целевых задач;
- для каждой целевой задачи состав элементов

БА, выполняющих целевую задачу,

$$c_{ц} = a_1^{ц}, a_2^{ц}, \dots, a_z^{ц}, \dots, a_z^{ц}, z = \overline{1, Z}, \quad (4)$$

и кортеж состояния указанных элементов БА во время выполнения целевой задачи

$$X_{ц} = X_{a_1^{ц}}, X_{a_2^{ц}}, \dots, X_{a_z^{ц}}, \dots, X_{a_z^{ц}}, z = \overline{1, Z}, \quad (5)$$

где  $Z$  – количество элементов БА, выполняющих данную целевую задачу.

2. Перед верификацией каждой программы управления  $e_v$  должна быть решена задача прогноза состояния для контролируемой программы управления и сформированы результаты прогноза.

3. Для верификации каждой целевой задачи, выполняемой в контролируемой программе управления  $e_v$ , оператору необходимо задать следующие параметры:

- имя контролируемой целевой задачи, соответствующее имени её в таблице;

- времена начала  $t_{ц}^H$  и конца  $t_{ц}^K$  выполнения целевой задачи.

4. Далее решение задачи выполняется в автоматическом режиме. Программа по имени целевой задачи находит соответствующую строку таблицы технологических исходных данных. Затем по времени начала  $t_{ц}^H$  целевой задачи в выходной таблице прогноза находит кортеж состояния элементов БА на данный момент времени

$$x(t_{ц}^H) = (x_1(t_{ц}^H), x_2(t_{ц}^H), \dots, x_i(t_{ц}^H), \dots, x_n(t_{ц}^H)), i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

5. По заданным в таблице именам (номерам) элементов, путем выбора состояний соответствующих элементов в кортеже состояний БА, формируется прогнозируемый кортеж состояний элементов БА, выполняющих данную целевую задачу

$$x_{ц}(t_{ц}^H) = (x_{a_1^{ц}}(t_{ц}^H), x_{a_2^{ц}}(t_{ц}^H), \dots, x_{a_z^{ц}}(t_{ц}^H), \dots, x_{a_z^{ц}}(t_{ц}^H)), z = \overline{1, Z}, \quad (7)$$

6. Выполняется поэлементное сравнение кортежей (5) и (7). Операция формирования и сравнения кортежей выполняется для всех кортежей состояний БА, находящихся в интервале решения целевой задачи  $t_{ц}^H$  и  $t_{ц}^K$ .

По результатам сравнения прогнозируемого и заданного кортежей состояний формируется сообщение о результатах контроля: либо о выполнении

условий контроля, либо о невыполнении, если обнаруживается факт несовпадения кортежей. При этом указывается время и номера элементов БА, состояния которых не совпадают. Аналогичным образом выполняется верификация всех целевых задач, реализованных в программе управления КА.

В том случае, если все параметры, вводимые оператором, приведены в заявке на работу БА, верификация программы управления может выполняться в автоматическом режиме для всех целевых задач последовательно. Таким образом, по существу рассмотренная задача является контролем реализации целевых задач КА, заданных в заявке, в сформированной программе управления.

Решение задачи верификации программ управления КА по области запрещенных состояний целесообразно выполнять одновременно с решением задачи прогноза. Это связано с тем, что теоретически любой переход в пространстве состояний БА может привести к пересечению с областью запрещенных состояний. В то же время выполнение функций контроля при изменении состояний БА, описываемых переходными функциями элементов, позволяет выполнять функции контроля непосредственно в переходной функции и сохранить все преимущества моделирующего алгоритма.

Функции контроля элементов БА можно условно разделить на две группы:

- 1- функции контроля, связанные с особенностями функционирования элемента;
- 2- функции контроля, обусловленные особенностями совместного функционирования элементов.

Рассмотрим функции контроля первой группы. Запрещенным состоянием любого элемента БА является его состояние неработоспособности  $x_{3i} = 0$ . Характерными переходами в данном случае являются:

- включение неработоспособного элемента, т.е. переход из состояния  $x_i(t) = (0, 1, 0)$  в состояние  $x_i(t+1) = (1, 1, 0)$ ;

- переключение на неработоспособный элемент, т.е. переход из состояния  $x_i(t) = (0, 0, 0)$  в состояние  $x_i(t+1) = (0, 1, 0)$ ;

- переключение на неработоспособный элемент с его одновременным включением той же командой, т.е. переход из состояния  $x_i(t) = (0, 0, 0)$  в состояние  $x_i(t+1) = (1, 1, 0)$ .

Так как теоретически возможен переход любого элемента БА в состояние неработоспособности, этот вид контроля является обязательным для всех элементов. В этом случае нет необходимости в специальном задании области запрещенных состояний.

Достаточно скорректировать состояние неработоспособности  $x_{3i}$  любого элемента  $a_i$  в таблице исходных состояний объекта. В общем виде эти функции контроля можно представить следующим образом:

$$x_i(t+1) = d_1\{x_i(t), u_j(t+1)\} \cap x_{3i}(t+1),$$

$$\text{при } x_{3i}(t+1) = 0, \quad (8)$$

где  $d_1$  - переходная функция элемента  $a_i$ ;

$u_j$  - команда управления, выданная в момент времени  $(t+1)$ .

К этой группе можно также отнести функции контроля, когда по условиям функционирования элемента запрещен конкретный переход (или переходы) его из одного состояния в другое. Например, запрещается переключение некоторых элементов, находящихся в состоянии "включен", т.е. переход из состояния  $x_i(t) = (1, 1, 1)$  в  $x_i(t+1) = (1, 0, 1)$ , так как это может привести элемент в состояние неработоспособности. Такие функции контроля можно представить в общем виде:

$$x_i''(t+1) = d_1\{x_i'(t), u_j(t+1)\}, \quad (9)$$

где  $x_i'(t)$ ,  $x_i''(t+1)$  - предыдущее и последующее состояние запрещенного перехода, соответственно.

Функции контроля второй группы можно представить в общем виде:

$$x_i(t+1) = d_1\{x_i(t), u_j(t+1)\} \cap x_{c_m}^s(t+1), \quad (10)$$

где  $x_{c_m}^s$  - запрещенные состояния некоторой совокупности элементов (подсистемы).

В этой группе можно выделить следующие типы функций.

1. Если состояние элемента  $a_i$  совпадает с запрещенным состоянием хотя бы одного элемента совокупности элементов (подсистемы)  $c_m$ :

$$x_i(t) \cap \left( x_{a_1^m}^s(t) \cup x_{a_2^m}^s(t) \cup \dots \cup x_{a_G^m}^s(t) \right) = 1 \quad (11)$$

где  $x_{a_1^m}^s(t)$ ,  $x_{a_2^m}^s(t)$ ,  $x_{a_G^m}^s(t)$  запрещенные состояния элементов подсистемы  $c_m$  в момент времени  $t$ .

2. Если по условиям контроля состояние элемента  $x_i(t)$  совпадает с запрещенными состояниями всех элементов подсистемы  $c_m$ :

$$x_i(t) \cap \left( x_{a_1^m}^s(t) \cap x_{a_2^m}^s(t) \cap \dots \cap x_{a_G^m}^s(t) \right) = 1 \quad (12)$$

Характерными вариантами таких функций являются:

- включение элемента при функционировании некоторой совокупности элементов, когда их сов-

местное функционирование запрещено, т.е. переход из состояния  $x_i(t) = (0, 1, 1)$  в состояние  $x_i(t) = (1, 1, 1)$  при состоянии хотя бы одного из элементов  $x_{a_1^m}^s(t) = x_{a_2^m}^s(t) = \dots = x_{a_G^m}^s(t) = (1, 1, 1)$ .

- переключение и одновременное включение элемента при функционировании некоторой совокупности элементов, т.е. при переходе элемента из состояния  $x_i(t) = (0, 0, 1)$  в состояние  $x_i(t+1) = (1, 1, 1)$  при состоянии всех элементов  $x_{a_1^m}(t) = x_{a_2^m}(t) = \dots = x_{a_G^m}(t) = (1, 1, 1)$ .

3. Если по условиям функционирования элемента  $a_i$  запрещен определенный переход его из одного состояния в другое при условии функционирования некоторой совокупности элементов  $c_m$ :

$$x_i''(t+1) = d_1 \{x_i'(t), u_j(t+1)\} \cap x_{c_m}^s(t+1), \quad (13)$$

где  $x_i'(t)$ ,  $x_i''(t+1)$  - предыдущее и последующее состояние запрещенного перехода элемента.

Характерными вариантами таких функций являются: переключение элемента  $a_i$  при функционировании одного элемента или некоторой совокупности элементов, т.е. при переходе из состояния  $x_i'(t) = (0, 1, 1)$  в состояние  $x_i''(t+1) = (0, 0, 1)$ , если все элементы подсистемы или любой из них включены  $x_{a_1^m}^s(t) = x_{a_2^m}^s(t) = \dots = x_{a_G^m}^s(t) = (1, 1, 1)$ .

4. Если условием функционирования элемента  $a_i$  является функционирование другого элемента или некоторой совокупности элементов  $c_m$ , обеспечивающих функционирование элемента  $a_i$ . В этом случае функция контроля имеет вид:

$$x_i(t+1) = d_1 \{x_i(t), u_j(t+1)\}, \quad \text{если } x_{c_m}^m(t) = 1 \quad (14)$$

где  $x_{c_m}^m$  - состояния функционирования обеспечивающей подсистемы.

Характерными вариантами таких функций являются:

- включение или переключение с включением элемента  $a_i$  при условии обязательного функционирования одного или нескольких элементов, т.е. при переходе из состояния  $x_i(t) = (0, 1, 1)$  в состояние  $x_i(t+1) = (1, 1, 1)$  или из состояния  $x_i(t) = (0, 0, 1)$  в состояние  $x_i(t+1) = (1, 1, 1)$ , если

все элементы подсистемы или любой из них включены  $x_{a_1^m}(t+1) = x_{a_2^m}(t+1) = \dots = x_{a_G^m}(t+1) = (1, 1, 1)$ .

Рассмотренные функции контроля выполняются в момент перехода элементов из одного состояния в другое. Существуют функции контроля, связанные с особенностями функционирования элементов во времени. Они могут определяться условиями подготовки элемента к функционированию, например, его предварительным охлаждением или прогревом, или ограничением длительности функционирования. В этом случае функции контроля можно так же выполнять в моменты изменения соответствующих состояний. Для реализации данной функции контроля необходимо сохранять текущие времена включения и выключения элементов в таблице текущих состояний. Эти данные используются для расчета контролируемого параметра и сравниваются с величинами ограничивающих их значений, хранящихся в специальной таблице технологических исходных данных. В общем случае такие функции можно представить высказывательными функциями типа:

$$\Delta t_i \leq \Delta t_i^{\max}, \quad (15)$$

где  $\Delta t_i$  - время нахождения элемента в контролируемом состоянии;

$\Delta t_i^{\max}$  - максимально допустимое время нахождения элемента в данном состоянии.

При подстановке соответствующих значений переменных в высказывательную функцию она превращается в высказывание. При невыполнении условия контроля необходимо сформировать сообщение для выполнения корректировки программы управления. Представление функций контроля высказывательными функциями позволяет реализовать их формализованными программными процедурами. Процедура по номеру элемента выполняет выбор соответствующих переменных для расчета контролируемого параметра (текущие времена включения и выключения элементов) из таблицы текущих состояний.

Характерными типами таких функций являются:

- 1) контроль времени непрерывного функционирования элемента;
- 2) контроль времени нахождения элемента в выключенном состоянии между двумя последовательными включениями.

Понятно, что первая функция контроля должна выполняться совместно с переходной функцией выключения, а вторая - с переходной функцией включения.

Завершая рассмотрение функций контроля программы управления КА можно отметить, что функ-

ции контроля реализованы формализованными программными процедурами, инвариантными номеру элемента и числовым данным, составляющим область запрещенных (или обеспечивающих) состояний. Процедуры включаются в модули переходных функций соответствующих элементов, не изменяя моделирующего алгоритма и сохраняя его временные характеристики.

В статье рассмотрены типовые, наиболее распространенные функции контроля. Естественно, может возникнуть необходимость в реализации специальных функций контроля, характерных только для БА данного типа КА. Эти функции могут быть реализованы специальными (неформализованными) процедурами и включены в состав соответствующих модулей переходных функций элементов. Опыт показывает, что при реализации функций контроля основное внимание должно быть уделено наиболее часто встречающимся типовым функциям контроля, что требует от оператора постоянного внимания и определенных затрат времени. А редко встречающиеся функции, которые достаточно просто контролируются по результатам моделирования БА, могут и не требовать их программной реализации.

Для визуальной верификации программы управления оператором на основе прогноза состояния БА разработаны алгоритмы представления результатов моделирования. Информация о прогнозируемых состояниях элементов БА может быть представлена в виде следующих форм документов:

- временного графика управления - об изменении состояний элементов БА по командам программы управления;
- циклограммы работы элементов БА – графическое представление функционирования элементов БА в масштабе времени;
- кортежа состояния бортовых систем - о состояниях всех элементов БА на любой заданный момент времени интервала расчета.

### Выводы

Разработанная методика верификации программ управления КА представляет собой совокупность нескольких задач контроля, основой которых является прогноз состояния бортовой аппаратуры КА. Ряд задач контроля, связанных с ограничениями по управлению отдельных элементов и особенностями их функционирования, выполняется во

время решения задачи прогноза состояния объекта. Основой для решения ряда задач являются полученные результаты моделирования - прогноз состояния бортовых систем КА. Методика прошла апробацию и нашла применение при управлении нескольких КА. Реализация методики обеспечивает повышения качества управления КА за счет следующих факторов:

- предотвращения возможности возникновения нештатных ситуаций путем выполнения автоматизированного контроля различных ограничений по управлению КА, связанных с особенностями функционирования отдельных элементов и особенностями совместного функционирования элементов БА;
- повышения качества формируемых программ управления КА за счет контроля реализации в них планируемых целевых задач, контроля и эффективного использования ресурса бортовых систем КА;
- повышения информационной обеспеченности операторов сектора управления за счет обработки и представления результатов моделирования в удобной для операторов форме для выполнения визуального контроля сформированной программы управления КА.

### Литература

1. Дудинкин В.И. Способ обработки программы управления путем имитации объекта моделью конечного автомата / В.И. Дудинкин, В.Д. Романов // *Управляющие системы и машины*. – 1983, №4. – С. 19–22.
2. 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.
3. Спиридонов В.Н. Построение математической модели дискретных динамических систем с постоянной структурой / В.Н. Спиридонов // *Вестник Академии таможенной службы Украины*. Сер. Технические науки. - 2009, №2 (42) – С. 73–79.
4. Спиридонов В.Н. Моделирование сложных технических объектов: состояния и переходные функции / В.Н. Спиридонов // *Вестник Академии таможенной службы Украины*. Сер. Технические науки. - 2010, №1 (43) – С. (в печати)
5. Беляев М. Ю. Научные эксперименты на космических кораблях и орбитальных станциях / М.Ю. Беляев. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.

Поступила в редакцию: 05.04.2010

**Рецензент:** д-р тех. наук, профессор, зав. кафедры высшей математики и компьютерных технологий А.А. Рядно, Днепропетровская государственная финансовая академия, Днепропетровск.

**МЕТОДИКА ВЕРИФІКАЦІЇ ПРОГРАМ УПРАВЛІННЯ КОСМІЧНОГО АПАРАТА  
НА ОСНОВІ ПРОГНОЗУ СТАНУ БОРТОВОЇ АПАРАТУРИ***В.М. Спиридонов*

Запропоновано методику верифікації програм управління космічного апарата. Методика забезпечує рішення ряду задач контролю з використанням моделі бортової апаратури КА. Модель об'єкта призначена для рішення задачі прогнозу стану бортової апаратури КА. Використовуваний метод моделювання базується на описі функціонування об'єкта в просторі станів перехідними функціями. У статті розглянуті типові, найпоширеніші функції контролю обмежень по управлінню бортової апаратури КА. Методика пройшла апробацію й була використана при управлінні декількох КА.

**Ключові слова:** моделювання складних систем, метод перехідних функцій, методика верифікації програм управління.

**VERIFICATION TECHNIQUE OF SPACE VEHICLE CONTROL PROGRAMS  
ON THE FORECAST BASIS OF THE ONBOARD EQUIPMENT STATES***V.M. Spiridonov*

The verification technique of a space vehicle control programs is offered. The technique provides the decision of some problems of the control using the onboard equipment model. The object model is intended for the problem decision of the forecast of onboard equipment states. The modeling method which is used in technique is based on the description of object functioning in space of states by transitive functions. The typical, most widespread functions of the control restrictions on onboard equipment control are considered. In the article the technique has been passed approbation and was used at control of some space vehicle.

**Key words:** modelling of complex systems, method of transitive functions, verification of space vehicle control programs.

**Спиридонов Владимир Николаевич** – канд. тех. наук, доцент кафедри вищої математики и компьютерных технологий, Днепропетровская государственная финансовая академия, Днепропетровск, Украина, e-mail: [spiridonov-vladimir@rambler.ru](mailto:spiridonov-vladimir@rambler.ru).