

С. А. Амелькин, О. Г. Шишкин, А. А. Талалаев

Генерация данных для задачи диагностирования систем космического аппарата

Аннотация. Задача тестирования работоспособности датчиковой аппаратуры космических систем является актуальной, поскольку связана с обеспечением отказоустойчивости. По мере роста масштабов и сложности систем и программ растет объем анализируемой информации, причем она не всегда доступна для проведения экспериментальных исследований, связанных с моделированием различных аномалий, что необходимо для построения и настройки специальных систем контроля и диагностики. В работе предложено программное средство генерации данных, предназначенное для моделирования разнообразных ситуаций с датчиками космического аппарата и отработки техники обнаружения и прогнозирования неисправностей. За счет предлагаемых средств обеспечивается высокий уровень охвата автоматическим контролем различных ситуаций, возникающих в процессе функционирования космических аппаратов. Обеспечивается более точная настройка инструментальных средств контроля, диагностики и прогнозирования развития ситуаций, связанных с аномалиями и отказами датчиков.

Ключевые слова и фразы: космический аппарат, генерация данных телеметрии, подсистемы, диагностика аномалий, тестирование, эмуляция данных.

Введение

Эмуляция является основным источником объективной информации о характеристиках процессов, протекающих в сложных технических системах, в том числе космических и других летательных аппаратах. Целью обработки данных телеметрии является выявление аномалий в работе подсистем целевой аппаратуры. При этом функционирование этих подсистем разбивается на элементарные временные отрезки, которые имитируют оперативную информацию о подсистемах

Работа выполнена в рамках СЧ НИР шифр «Мониторинг-СГ-1.2.5.1» по Программе Союзного государства «Разработка космических и наземных средств обеспечения потребителей России и Беларуси информацией дистанционного зондирования Земли» и при частичной поддержке РФФИ (проект №15-29-06945_офи_м).

© С. А. Амелькин, О. Г. Шишкин, А. А. Талалаев, 2017

© Институт программных систем имени А. К. Айламазяна РАН, 2017

© Программные системы: теория и приложения, 2017

и модулях с сохранением логической структуры и последовательности протекания событий во времени. Анализ этих данных позволяет осуществлять выявление закономерностей в характеристиках исследуемых объектов и процессов. Результаты обработки позволяют оценить качественные характеристики исследуемого объекта для принятия оперативных решений с целью адаптации к изменившимся условиям. В настоящей работе основной упор делается на генерацию данных, имитирующих информацию, поступающую с космических аппаратов. Это позволяет анализировать различные последовательности, содержащие как пробелы, так и помехи; обнаруживать и прогнозировать аномалии в работе подсистем. На этой основе строится разрабатываемая в ИПС им. А.К. Айламазяна РАН система контроля и диагностики [1].

Анализ инструментальных средств генерации данных

Большинство существующих инструментов генерации тестовых данных (DTM Data Generator [2], Turbo Data [3], DBMonster [4]) обеспечивают поддержку заполнения таблиц баз данных большим количеством синтаксически корректных записей. Эти инструменты предоставляют следующие возможности: генерация случайных данных с возможностью задания интервала для числовых типов, длины для строк и формата генерируемых данных; генерация автоувеличивающихся данных с указанием начального значения и шага; генерация случайных данных по маске; генерация данных на основе внешних процедур; возможность создания пользовательской процедуры [5]. Полное покрытие всех функциональных ветвей тестируемых объектов обеспечивается только за счет полного перебора комбинаций значений полей данных, в зависимости от которых происходят ветвления при выборке, трансформации и фильтрации данных. В работе [6] рассматривается задача генерации последовательности данных для системного функционального тестирования состояния микропроцессоров. Каждый элемент такой последовательности содержит указание кода операции, аргументов и тестовой ситуации — связи значений операндов и состояния микропроцессора (ячейки кэш-памяти, регистры, другие подсистемы) перед началом выполнения инструкции.

В качестве параметров команды в тестовом шаблоне могут выступать переменные величины — регистры, непосредственные значения, адреса. Объект исследования в работе [7] — метод генерации тестовых сигналов для автоматизированных испытательных систем. Целью

исследований является получение оценочных значений метрологических характеристик программного обеспечения. Приводятся алгоритм построения моделей тестовых сигналов, реализуемых компьютерной системой. Метод опирается на полную математическую модель сигналов и обеспечивает восстановление значений измеряемых параметров.

Восстановление пропусков информации является важнейшей функцией генераторов, опирающихся на неполные данные, поступающих от сложных технических систем, например, космических аппаратов. Следует выделить следующие основные подходы заполнения пропусков:

- (1) геометрическая интерполяция — это способ нахождения промежуточных значений величины по имеющемуся дискретному набору известных значений; например, линейная интерполяция, интерполяция кубическим сплайном [8, 9];
- (2) заполнение по регрессии — способ построения уравнения линейной множественной регрессии по комплектам данным; при этом строится модель линейной зависимости переменной, в которой пропуски заполняются за счет использования других признаков и регрессионных коэффициентов; подставляя значения предикторов в регрессионное уравнение, получают прогноз пропущенного показателя [10]; аналитическое выравнивание исходит из того, что изменения уровней ряда динамики могут быть с той или иной степенью точности приближения выражены определенными математическими функциями; вид уравнения определяется характером динамики развития конкретного явления; выбор вида уравнения основывается на рассчитанных показателях динамики [1].

Восстановление пропущенных данных и генерация имитирующих последовательностей на основе корреляционной функции

Одним из способов обеспечения высокого уровня эксплуатационной работоспособности космического аппарата (КА) является контроль и диагностика его подсистем с возможностью прогнозирования развития ситуаций, связанных с аномалиями и отказами датчиков [11]. По мере роста масштабов и сложности систем и программ растет трудоемкость тестирования и объем анализируемой информации. Поскольку не всегда данные с КА являются доступными для непосредственного проведения экспериментов, полезным является наличие средств моделирования разнообразных ситуаций на борту, что достигается

Таблица 1. Пример исходных данных телеметрии КА с пропусками

Время, с	Напряжение питания в бортсети, В	Сила тока в бортсети, А	Напряжение солнечной батареи, В
0	14	0.93	0.19
60	?	?	?
120	14	0.93	0.19
180	?	?	?
240	14.2	0.96	0.19
300	?	?	?
360	14.2	0.26	0.19
420	?	?	?
480	14	0.04	0.19
540	?	?	?
600	?	?	?
660	14.1	0.29	0.19
720	?	?	?
780	?	?	?
840	?	?	?
900	?	?	?
960	?	?	?
1020	14.9	0.58	15.74
1080	14.2	0.89	0.1
...

построением имитаторов датчиков, содержащих в том числе различные виды сбоев. Это позволяет решить задачу повышения качества и сокращения расходов на тестирование [12]. Целью настоящей работы является разработка средств эмуляции и генерации данных подсистем КА. Существенным недостатком имеющихся в настоящее время инструментов для генерации тестовых данных является узкий спектр предоставляемых возможностей по управлению генерацией тестовых данных, что подчеркивается в работе [13]. В настоящей работе для построения генераторов в качестве исходной информации (основы базы знаний) были взяты данные телеметрии малого КА «Юбилейный», предоставленные Научно-исследовательским институтом специального машиностроения МГТУ им. Н.Э. Баумана. Особенностью этих данных явилось: наличие пропусков в данных; наличие предельно допустимых значений; малый интервал времени наблюдения [1]. Пример

ТАБЛИЦА 2. Восстановленные данные телеметрии КА

Время, с	Напряжение питания в бортсети, В	Сила тока в бортсети, А	Напряжение солнечной батареи, В
0	14	0.93	0.19
60	14	0.93	0.19
120	14	0.93	0.19
180	14.13	0.95	0.19
240	14.2	0.96	0.19
300	14.2	0.63	0.19
360	14.2	0.26	0.19
420	14.14	0.19	0.19
480	14	0.04	0.19
540	14.01	0.07	0.19
600	14.09	0.28	0.19
660	14.1	0.29	0.19
720	14.25	0.34	3.08
780	14.41	0.4	6.18
840	14.57	0.46	9.28
900	14.73	0.52	12.38
960	14.89	0.58	15.48
1020	14.9	0.58	15.74
1080	14.2	0.89	0.1
...

исходных данных с космического аппарата представлен в таблице 1.

Первый шаг к обработке данных с пропусками — исключение некомплектных записей. Необходимо, чтобы количество пропусков в исходных данных было небольшим, иначе происходят сильные смещения в таблице [14]. Восстановление поврежденных данных проводится методом линейной интерполяции [15]. В таблице 2 представлен фрагмент восстановленных данных [1].

Восстановление поврежденных данных необходимо для корректного построения корреляционных функций, лежащих в основе генерации данных. Корреляционная функция позволяет решать многие задачи генерации рядов данных, такие как выявление взаимосвязи между анализируемыми параметрами; знаний о корреляционных связях; прогнозирование поведения параметров целевых объектов на основе анализа поведения другого коррелирующего параметра; проведение

ТАБЛИЦА 3. Сгенерированные данные телеметрии КА

Время, с	Напряжение питания в бортсети, В	Сила тока в бортсети, А	Напряжение солнечной батареи, В
0	1	-0.16	0.74
60	0.69	0.05	0.42
120	0.51	0.22	0.22
180	0.48	0.31	0.18
240	0.45	0.2	0.14
300	0.48	0.06	0.16
360	0.4	0.25	0.11
420	0.31	0.46	0.06
480	0.25	0.02	0.08
540	0.25	0.05	0.11
600	0.21	0.02	0
660	0.25	-0.06	0.13
720	0.32	0.03	0.25
780	0.27	0.07	0.11
840	0.17	0.29	-0.05
900	0.2	0.01	-0.06
...

классификации на основе подбора независимых друг от друга признаков. Корреляционная функция рассчитывается по формуле [16]:

$$(1) \quad r(\tau) = \frac{n \sum_i x_i y_{i-\tau} - (\sum_i x_i)(\sum_i y_{i-\tau})}{\sqrt{[n \sum_i x_i^2 - (\sum_i x_i)^2] [n \sum_i y_{i-\tau}^2 - (\sum_i y_{i-\tau})^2]}}$$

где x_i, y_i ($i=1, \dots, n$) — значения параметров, по которым строится корреляционная функция, τ — время сдвига, n — длина ряда значений. Для расчета важно, чтобы временные промежутки между полученными данными были одинаковы, например, кратны некоторой постоянной величине для всех значений τ . Пример сгенерированных данных телеметрии КА и соответствующие им графики показаны в таблице 3 и рис. 1.

Для того чтобы обнаружить общие свойства потока данных [17, 18], выявить закономерности, тенденции развития процесса и в результате прийти к сгенерированным данным, необходимо реализовать следующие действия:

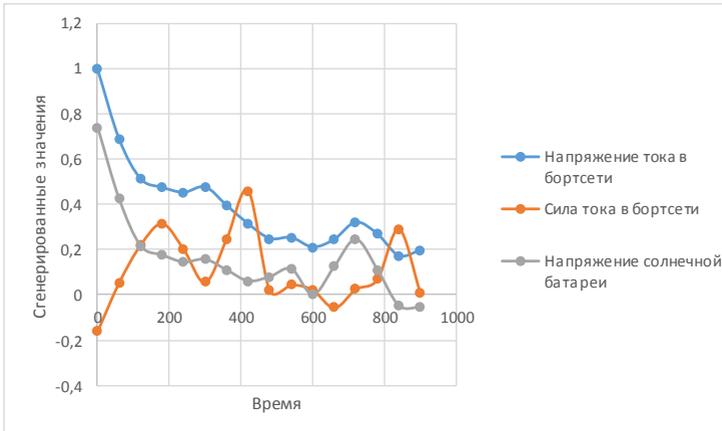


Рис. 1. Диаграмма сгенерированных данных

- (1) построить таблицу (базу) данных телеметрии;
- (2) восстановить пробелы в таблице данных путем метода линейной интерполяции;
- (3) рассчитать статистические оценки распределения вектора данных телеметрии КА: математических ожиданий, корреляционной матрицы, при необходимости моментов высших порядков;
- (4) провести корреляционный анализ, позволяющий измерить степень влияния факторных признаков на результативные, установить единую меру тесноты связи и роль, исследуемых данных телеметрии;
- (5) получить количественные характеристики степени связи между двумя и большим числом датчиков (дает представление о связи между данными); определение средней изменения результативного признака под влиянием одного или нескольких факторов; характеристика степени зависимости результативного признака от одного из факторов при фиксированном значении других факторов [19].

Для получения сгенерированных данных (таблица 1) используется алгоритм восстановления распределения случайного вектора на основе взвешенной суммы значений, где веса определены в соответствии с корреляционными функциями.

Практическое применение результатов генерации данных

Результаты алгоритма генерации данных с космического аппарата используются для получения байесовской оценки аномальности потока данных [11]. Задача прогнозирования состояния сложных систем на основе байесовского подхода с использованием алгоритма генерации данных решена в случае известного распределения вектора исходных генерируемых случайных величин $x(t)$. По значению функции распределения на границе аномальной зоны x^* оценивается вероятность перехода в аномальное состояние за заданный период времени Δt . Для повышения точности прогноза учитывается текущее состояние системы и множество условных распределений случайного вектора. Для любого критического значения вероятности p^* чем меньше значение Δt , при котором достигается значение вероятности $P(x(t + \Delta t) > x^*) > p^*$, тем более опасно текущее состояние. В итоге, в ходе реализации байесовского подхода каждому состоянию системы ставится в соответствие уровень опасности и прогнозная граница, в течение которой $x(t)$ превысит пороговое значение x^* . Уровни опасности, таким образом, ранжируются по величине Δt : чем меньше значение Δt , тем выше уровень опасности. Применение байесовского подхода в решении задачи прогнозирования подразумевает вычисление уровня опасности текущего состояния с использованием разработанного алгоритма генерации данных. Генерация данных по известному распределению вектора случайных величин, соответствующему вектору телеметрических данных, используется для эмуляции данных и тестирования систем прогнозирования аномальной работы датчиков на космических аппаратах.

Заключение

В результате создана технология генерации данных по телеметрии КА, которая предполагает возможность настройки процесса генерации тестовых данных под особенности конкретной тестируемой подсистемы КА. Полученные результаты позволяют производить отладку и тестирование алгоритмов контроля и диагностики подсистем космических аппаратов.

Список литературы

- [1] Н. С. Абрамов, А. А. Талалаев, В. П. Фраленко. «Интеллектуальный анализ телеметрической информации для диагностики оборудования космического аппарата», *Информационные технологии и вычислительные системы*, 2016, №1, с. 64-75. [↑ 20,21,22,23](#)

- [2] *DTM Data Generator. Test Data Generator for database population and testing purposes with optional SQL, text, JSON, XML output*, DTM soft, 1998-2017, URL: <http://www.sqledit.com/dg/> ↑²⁰
- [3] *Turbo Data. Automated Data Generator for Testing*, URL: <http://www.turbodata.ca/> ↑²⁰
- [4] P. Maj. *DBMonster Core. The dbMonster home page*, 2003-2012, URL: <http://dbmonster.sourceforge.net> ↑²⁰
- [5] Е. А. Костычев, В. А. Омельченко, С. В. Зеленев. «Нацеленная генерация данных для тестирования приложений над базами данных», *Труды Института системного программирования РАН*, **20** (2011), с. 253–268, URL: http://ispras.ru/proceedings/docs/2011/20/isp_20_2011_253.pdf ↑²⁰
- [6] Е. В. Корныхин. «Генерация тестовых данных для системного функционального тестирования микропроцессоров с учетом кэширования и трансляции адресов», *Труды Института системного программирования РАН*, **17** (2009), с. 145–160, URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/generatsiya-testovykh-dannyh-dlya-sistemnogo-funktsionalnogo-testirovaniya-mikroprotsessorov-s-uchetom-keshirovaniya-i-translyatsii> ↑²⁰
- [7] А. Л. Штундер. «Система генерации тестовых сигналов для определения метрологических характеристик программного обеспечения испытательных систем», *Труды МАИ*, 2011, №45, 21 с., URL: <http://mai.ru/upload/iblock/f51/sistema-generatsii-testovykh-signalov-dlya-opredeleniya-metrologicheskikh-kharakteristik-programmnogo-obespecheniya-ispytatelnykh-sistem.pdf> ↑²⁰
- [8] *Интерполяция — Prognoz BI University | Wiki*, ЗАО «ПРОГНОЗ», URL: <http://university.prognoz.ru/biu/ru/Интерполяция> ↑²¹
- [9] И. Ю. Алешин, А. В. Сычев, Д. К. Агишева, Т. А. Матвеева. «Интерполяция неизвестных функций кубическими сплайнами», *Современные наукоемкие технологии*, 2014, №5-2, с. 188–189, URL: <http://www.top-technologies.ru/pdf/2014/5-2/34060.pdf> ↑²¹
- [10] Ю. Г. Шкарпеткина. *Исследование и разработка метода заполнения пропусков в взвешенных обучающих выборках данных*, Реферат по теме выпускной работы, URL: <http://masters.donntu.org/2012/iii/shkarpetkina/diss/> ↑²¹
- [11] С. А. Амеликин, М. В. Шустова. «Байесовская оценка аномальности потока данных», *Искусственный интеллект и принятие решений*, 2016, №2, с. 55–59. ↑^{21,26}
- [12] М. Н. Бурдаев, А. Н. Виноградов, В. Ф. Заднепровский, А. В. Захаров, Е. П. Куршев, В. М. Хачумов. «Комплекс программно-инструментальных средств для создания интеллектуальных систем контроля и управления объектами аэрокосмического назначения», *Авиакосмическое приборостроение*, 2006, №8, с. 24–33. ↑²²

- [13] А. В. Демаков, С. В. Зеленов, С. А. Зеленова. «Генерация тестовых данных сложной структуры с учетом контекстных ограничений», *Труды Института системного программирования РАН*, **9** (2006), с. 83–96, URL: http://citforum.ru/SE/testing/complex_test/ ↑²²
- [14] И. В. Абраменкова, В. В. Круглов. «Методы восстановления пропусков в массивах данных», *Программные продукты и системы*, 2005, №2, с. 18–22, URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/metody-vozstanovleniya-propuskov-v-massivah-dannyh> ↑²³
- [15] Е. З. Демиденко. *Линейная и нелинейная регрессии*, Финансы и статистика, М., 302 с. ↑²³
- [16] А. Н. Гайдадин, С. А. Ефремова, Н. Н. Бакумова, *Применение корреляционного анализа в технологических процессах*, РИО РПК «Политехник», Волгоград, 2008, с. 3–16. ↑²⁴
- [17] О. В. Иванов. *Статистика*. Т. 1: *Описательная статистика*, Изд-во МГУ, М., 2005, 110 с. ↑²⁴
- [18] Н. С. Абрамов, А. А. Ардентов, Ю. Г. Емельянова, А. А. Талалаев, В. П. Фраленко, О. Г. Шишкин. «Архитектура системы мониторинга и прогнозирования состояния космического аппарата», *Программные системы: теория и приложения*, **6:2** (2015), с. 85–99, URL: http://psta.psiras.ru/read/psta2015_2_85-99.pdf ↑²⁴
- [19] А. М. Шихалев, *Корреляционный анализ. Непараметрические методы*, Изд-во Казан. ун-та, Казань, 2015, с. 5–45, URL: http://dSPACE.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/22219/72_200_001010.pdf ↑²⁵

Рекомендовал к публикации

д.т.н. В. М. Хачумов

Пример ссылки на эту публикацию:

С. А. Амелькин, О. Г. Шишкин, А. А. Талалаев. «Генерация данных для задачи диагностирования систем космического аппарата», *Программные системы: теория и приложения*, 2017, **8:2**(33), с. 19–31.

URL: http://psta.psiras.ru/read/psta2017_2_19-31.pdf

Об авторах:

Фото А. Ю. Фоменко, СС-BY-SA



Сергей Анатольевич Амелькин

Руководитель исследовательского центра системного анализа ИПС А. К. Айламазяна РАН. Область научных интересов: исследования ресурсообмена в макросистемах различной природы: тепло- и массообмена в термодинамических системах, товарообмена и процесса передачи информации в экономических системах, где максимальная эффективность зависит от продолжительности и средней интенсивности процессов ресурсообмена.

e-mail:

sergey.a.amelkin@gmail.com



Олег Гарриевич Шишкин

Аспирант, инженер Исследовательского центра мультипроцессорных систем ИПС им. А. К. Айламазяна РАН, автор более 8 публикаций. Область научных интересов: диагностика подсистем космического аппарата, комбинированные нейронные сети.

e-mail:

shishkinog@mail.ru



Александр Анатольевич Талалаев

к.т.н., старший научный сотрудник Исследовательского центра мультипроцессорных систем ИПС им. А. К. Айламазяна РАН, автор более 40 публикаций. Область научных интересов: искусственный интеллект, машинная графика, распознавание образов, параллельные вычисления.

e-mail:

arts@arts.botik.ru

Sergey Amelkin, Oleg Shishkin, Aleksandr Talalaev. *Data generation for the problem of diagnostics of space systems.*

ABSTRACT. The task of testing the operability of the sensor equipment of space systems is urgent, since it is related to ensuring fault tolerance. As the scale and complexity of systems and programs grow, the amount of information analyzed increases, and it is not always available for experimental studies related to the modeling of various anomalies, which is necessary for constructing and setting up special monitoring and diagnostic systems. A software tool for data generation is proposed to simulate a variety of situations with sensors of a spacecraft and to develop a technique for detecting and predicting faults. Due to the proposed means, a high level of coverage is provided for the automatic control of various situations that arise during the operation of space vehicles. A more accurate adjustment of the instrumentation for monitoring, diagnosing and forecasting the development of situations associated with anomalies and failures of the sensors. (*In Russian*).

Key words and phrases: spacecraft, telemetry data generation, subsystems, anomaly diagnostics, testing, data emulation.

References

- [1] N. S. Abramov, A. A. Talalaev, V. P. Fralenko. “Intelligent Telemetry Data Analysis for Diagnosing of the Spacecraft Hardware”, *Informatsionnyye tekhnologii i vychislitel’nyye sistemy*, 2016, no.1, pp. 64–75 (in Russian).
- [2] *DTM Data Generator. Test Data Generator for Database Population and Testing Purposes with Optional SQL, Text, JSON, XML Output*, DTM soft, 1998–2017, URL: <http://www.sqledit.com/dg/>
- [3] *Turbo Data. Automated Data Generator for Testing*, URL: <http://www.turbodata.ca/>
- [4] P. Maj. *DBMonster Core. The dbMonster Home Page*, 2003–2012, URL: <http://dbmonster.sourceforge.net>
- [5] Ye. A. Kostychev, V. A. Omel’chenko, S. V. Zelenov. “Targeted Data Generation for Testing Applications over Databases”, *Trudy Instituta sistemnogo programirovaniya RAN*, **20** (2011), pp. 253–268 (in Russian), URL: http://ispras.ru/proceedings/docs/2011/20/isp_20_2011_253.pdf
- [6] Ye. V. Kornyxkin. “Generating Test Data for System Functional Testing of Microprocessors Taking in Account Caching and Address Translation”, *Trudy Instituta sistemnogo programirovaniya RAN*, **17** (2009), pp. 145–160 (in Russian), URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/generatsiya-testovyh-dannyh-dlya-sistemnogo-funktionalnogo-testirovaniya-mikroprotessorov-s-uchetom-keshirovaniya-i-translyatsii>
- [7] A. L. Shtunder. “A System for Generating Test Signals to Identify the Metrological Characteristics of the Test Systems Software”, *Trudy MAI*, 2011, no.45 (in Russian), 21 p., URL: <http://mai.ru/upload/iblock/f51/systema-generatsii-testovykh-signalov-dlya-opredeleniya-metrologicheskikh-kharakteristik-programnogo-obespecheniya-ispytatelnykh-sistem.pdf>

- [8] *Interpolation*, <http://university.prognoz.ru/biu/ru/Interpolyatsiya> (in Russian).
- [9] I. Yu. Aleshin, A. V. Sychev, D. K. Agisheva, T. A. Matveyeva. “Interpolation of Unknown Functions by Cubic Splines”, *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii*, 2014, no.5-2, pp. 188–189 (in Russian), URL: <http://www.top-technologies.ru/pdf/2014/5-2/34060.pdf>
- [10] Yu. G. Shkarpetkina. *Study and Development of the Gap-Filling Method in the Weighted Training Samples*, Referat po teme vypusknoy raboty (in Russian), URL: <http://masters.donntu.org/2012/iii/shkarpetkina/diss/>
- [11] S. A. Amel'kin, M. V. Shustova. “Bayesian Estimate of Data Stream Abnormality”, *Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy*, 2016, no.2, pp. 55–59 (in Russian).
- [12] M. N. Burdayev, A. N. Vinogradov, V. F. Zadneprovskiy, A. V. Zakharov, Ye. P. Kurshev, V. M. Khachumov. “Complex of Software Tools for Development of the Aerospace Intellectual Control Systems”, *Aviakosmicheskoye priborostroyeniye*, 2006, no.8, pp. 24–33 (in Russian).
- [13] A. V. Demakov, S. V. Zelenov, S. A. Zelenova. “Generation of Complex Structure Test Data with Account of Context Constraints”, *Trudy Instituta sistemnogo programirovaniya RAN*, **9** (2006), pp. 83–96 (in Russian), URL: http://citforum.ru/SE/testing/complex_test/
- [14] I. V. Abramenkova, V. V. Kruglov. “Methods for Missing Values Recovery in Data Arrays”, *Programmnyye produkty i sistemy*, 2005, no.2, pp. 18–22 (in Russian), URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/metody-vosstanovleniya-propuskov-v-massivah-dannyh>
- [15] Ye. Z. Demidenko. *Linear and Nonlinear Regression*, Finansy i statistika, M. (in Russian), 302 p.
- [16] A. N. Gaydadin, S. A. Yefremova, N. N. Bakumova, *Application of Correlation Analysis in Technological Processes*, RIO RPK “Politekhnik”, Volgograd, 2008, pp. 3–16 (in Russian).
- [17] O. V. Ivanov. *Statistics. V. 1: Descriptive Statistics*, Izd-vo MGU, M., 2005 (in Russian), 110 p.
- [18] N. S. Abramov, A. A. Ardentov, Yu. G. Yemel'yanova, A. A. Talalayev, V. P. Fralenko, O. G. Shishkin. “The Architecture of the System for Spacecraft State Monitoring and Forecasting”, *Programmnyye sistemy: teoriya i prilozheniya*, **6:2** (2015), pp. 85–99 (in Russian), URL: http://psta.psir.ru/read/psta2015_2_85-99.pdf
- [19] A. M. Shikhalev, *Correlation analysis. Nonparametric methods*, Izd-vo Kazan. un-ta, Kazan', 2015, pp. 5–45, URL: http://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/22219/72_200_001010.pdf

Sample citation of this publication:

Sergey Amelkin, Oleg Shishkin, Aleksandr Talalaev. “Data generation for the problem of diagnostics of space systems”, *Program systems: Theory and applications*, 2017, **8:2**(33), pp. 19–31. (In Russian).

URL: http://psta.psir.ru/read/psta2017_2_19-31.pdf