

ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ, ДЛИТЕЛЬНО ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

В. В. ГОНЧАРОВ, В. И. БАКЛАНОВ, А. С. БУРЦЕВ, П. А. ФИЛОНЕНКО,
Т. Г. ЕРОФЕЕВА, М. Н. ТУРЧИН

*„НИИ КС имени А. А. Максимова“ – филиал АО „ГКНПЦ им. М. В. Хруничева“,
141091, Московская область, г. Юбилейный, Россия
E-mail: baklanov@niiks.com*

Задача обеспечения требуемого уровня надежности аппаратуры космического назначения и ее элементов и модулей является особенно актуальной в современных условиях. Для ее решения разработана технология оценки надежности элементов и модулей перспективной специальной и научной аппаратуры космического назначения, длительно функционирующей в условиях космического пространства. Технология представляет собой совокупность положений, правил, методик, математических моделей, алгоритмов и методов оценки надежности элементов и модулей новых образцов перспективной специальной и научной аппаратуры космического назначения, реализованных с использованием программно-технических средств. Разработанную технологию и аппаратно-программные комплексы предполагается использовать на предприятиях ракетно-космической промышленности, а также в головной организации по системе информации „Роскосмоса“ для автоматизированной оценки и анализа надежности перспективных образцов космических средств на этапах проектирования, отработки и эксплуатации.

Ключевые слова: надежность, космические аппараты, технология, автоматизированные системы

Задача обеспечения требуемых уровней надежности аппаратуры космического назначения и ее элементов и модулей особенно актуальна в современных условиях [1—4]. Это объясняется:

1) вводом в эксплуатацию новых элементов и модулей с низкой надежностью, что связано с недостаточной надежностью элементной базы, большим количеством конструкционных и прибороточных отказов;

2) отсутствием единого методического подхода к обеспечению технического состояния и надежности аппаратуры космического назначения;

3) высокой стоимостью создания космических аппаратов (КА) и их научной и специальной аппаратуры промышленными предприятиями, что связано с недостаточным использованием научно обоснованных методов при формировании заказа и планировании эксплуатации;

4) недостаточной исполнительской дисциплиной в обеспечении документооборота по техническому состоянию, надежности и безопасности вооружения и военной техники, особенно в части первичной информации.

Эти обстоятельства могут привести к:

1) снижению требуемого уровня технического состояния и надежности аппаратуры;

2) низкой достоверности оценок технического состояния и надежности аппаратуры;

3) увеличению стоимости натурной отработки и эксплуатации аппаратуры;

4) повышению рисков принятия неправильных решений в процессе создания и эксплуатации из-за низкой достоверности оценок надежности.

Для исключения таких последствий разработана технология оценки надежности элементов и модулей новых образцов перспективной специальной и научной аппаратуры космического назначения, длительно функционирующей в условиях космического пространства. Технология представляет собой совокупность положений, правил, методик, математических моделей, алгоритмов и методов оценки надежности элементов и модулей новых образцов перспективной специальной и научной аппаратуры космического назначения, реализованных с использованием программно-технических средств [5]. Технология позволяет выполнять в автоматизированном режиме:

- сбор и обработку информации о надежности элементов и модулей аппаратуры космического назначения по результатам натурной отработки;
- расчет надежности элементов и модулей аппаратуры космического назначения по результатам натурной отработки;
- контроль и поддержку принятия решений по обеспечению надежности элементов и модулей аппаратуры космического назначения;
- администрирование и хранение информации о надежности элементов и модулей аппаратуры космического назначения.

Использование технологии оценки надежности позволяет:

- обеспечивать получение адекватной оценки надежности на этапе натурной отработки, в том числе и по малым объемам испытаний;
- вырабатывать рекомендации по обеспечению заданных требований к надежности на этапе натурной отработки;
- минимизировать риски принятия неправильных решений из-за неадекватной оценки надежности.

Практическая реализация технологии связана с созданием аппаратно-программного комплекса оценки надежности, контроля и управления техническим состоянием и надежностью элементов и модулей перспективной научной и специальной аппаратуры, позволяющего:

- осуществлять в автоматическом режиме сбор, обработку и анализ первичной и обобщенной информации о надежности с определением численных значений показателей надежности новых образцов перспективной научной и специальной аппаратуры космического назначения на этапах проектирования, отработки и эксплуатации;
- осуществлять контроль и управление процессами обеспечения надежности элементов и модулей новых образцов перспективной научной и специальной аппаратуры космического назначения на этапах проектирования и отработки;
- учитывать структурно-функциональные взаимосвязи между элементами и модулями, что дает возможность оценивать надежность аппаратуры КА в целом и формировать рекомендации для планирования мероприятий по поддержанию численного состава группировки КА дистанционного зондирования Земли, необходимого для решения поставленных задач.

Одним из условий, необходимых для функционирования автоматизированной системы, реализующей разработанную технологию в автоматическом режиме, является внедрение электронного документооборота в контуры управления надежностью и безопасностью элементов и модулей новых образцов перспективной научной и специальной аппаратуры космического назначения на этапах проектирования, отработки и эксплуатации [2]. Необходимость такого внедрения обусловлена потребностью в достоверной информации о результатах испытаний и эксплуатации новых образцов перспективной научной и специальной аппаратуры космического назначения, так как эта информация является основой принятия правильных решений по обеспечению надежности. Электронный документооборот позволяет минимизировать роль человеческого фактора в искажении информации, повысить оперативность обмена информацией между низшими и высшими звеньями управления натурной отработкой

и эксплуатацией, а также перейти к автоматическому формированию баз данных о техническом состоянии и надежности всех иерархических уровней аппаратуры и КА в целом. При этом электронные документы, формируемые в рамках прямых функциональных обязанностей, автоматически передаются в базы данных без участия сотрудников.

Разработанная технология оценки надежности аппаратуры КА представляет собой совокупность взаимосвязанных методов автоматического сбора первичной информации по надежности и математических моделей и методов оценки надежности по малым объемам испытаний, учитывающих влияние факторов космического пространства на надежность элементов и материалов и приспособленных к оцениванию постепенных отказов аппаратуры путем обработки больших массивов телеметрической информации.

Новизна исследований заключается в том, что впервые в России разработана и экспериментально подтверждена технология автоматизированного сбора, учета, обобщения и анализа информации о надежности, контроля и поддержки принятия решений по обеспечению надежности элементов и модулей новых образцов перспективной специальной и научной аппаратуры космического назначения, отличающаяся от аналогов:

- использованием новых математических моделей оценки надежности элементов и модулей, позволяющих учитывать влияние воздействия факторов космического пространства в условиях сроков активного существования аппаратуры космического назначения 10 лет и более на надежность элементов и модулей аппаратуры космического назначения, а также объединять расчетные данные с результатами испытаний для повышения точности оценки надежности элементов и модулей [6—8];

- программной реализацией функции сбора информации о надежности элементов и модулей в формате, соответствующем требованиям нормативных документов по системе информации, действующим на предприятиях Госкорпорации „Роскосмос“ [9—11];

- программной реализацией методов штрихового кодирования для обеспечения электронного документооборота в процессе сбора и обмена информации о надежности элементов и модулей.

Практическая ценность разработанной технологии оценки надежности заключается в том, что она может быть использована в различных областях космической деятельности для повышения:

- скорости документооборота в процессе работ по обеспечению надежности космической техники;

- точности оценок надежности элементов и модулей аппаратуры космического назначения, применяемой в космических аппаратах длительного функционирования, на этапах проектирования, разработки, наземной экспериментальной отработки, летных испытаний и эксплуатации.

Разработанную технологию и аппаратно-программные комплексы предполагается использовать на предприятиях ракетно-космической промышленности, а также в головной организации по системе информации „Роскосмоса“ для автоматизированной оценки и анализа надежности перспективных образцов космических средств на этапах проектирования, отработки и эксплуатации.

Применение в разработанной технологии оценки надежности элементов и модулей радиоэлектронной аппаратуры, длительно эксплуатирующихся в условиях воздействия ионизирующих излучений позволит повысить надежность космической техники в процессе эксплуатации за счет:

- повышения более чем на порядок оперативности и снижения трудоемкости подготовки первичных информационных документов на местах их разработки;

- сокращения сроков обработки первичной информации и подготовки исходных данных для расчетов и анализа надежности;

— повышения точности и достоверности оценок надежности за счет увеличения объемов статистической информации и внедрения уточненных математических моделей расчета надежности;

— сокращения трудоемкости и повышения качества контроля надежности заказчиком, а также аудита расчетов надежности экспертными организациями;

— снижения негативного влияния человеческого фактора на качество исходных данных и достоверность получаемых результатов.

Использование разработанной технологии оценки надежности может быть распространено на другие сложные технические системы, длительно функционирующие в условиях воздействия ионизирующих излучений и других дестабилизирующих факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривопалов Д. М. Особенности надежностного проектирования программно-технических систем космических аппаратов // Тез. докл. 4-й Междунар. науч.-практ. конф. „Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли“. М.: ВНИИЭМ, 2016. С. 79—81.
2. Гончаров В. В., Бурцев А. С., Бакланов В. И., Филоненко П. А., Ерофеева Т. Г., Турчин М. Н. Технология автоматизированного расчета надежности целевой аппаратуры космических аппаратов на этапе летных испытаний и эксплуатации // Матер. 51-х Науч. чтений памяти К.Э. Циолковского. Калуга: Издатель Захаров С.И. („СерНА“), 2016. С. 126—127.
3. Меньшиков В. А., Рудаков В. Б., Сычев В. Н. и др. Контроль качества космических аппаратов при отработке и производстве. Оптимизация и управление рисками. М.: Машиностроение, 2009. 400 с.
4. Патраев Е. В., Максимов Ю. В. Методы обеспечения надежности бортовой аппаратуры космических аппаратов длительного функционирования // Изв. вузов. Приборостроение. 2008. Т. 51, № 8. С. 5—12.
5. Политехнический словарь / Гл. ред. А. Ю. Ишлинский. М.: Сов. энциклопедия, 1989. 656 с.
6. Гончаров В. В., Бурцев А. С., Филоненко П. А. Методика оценки надежности комплектующих элементов бортовых комплексов управления с учетом воздействия ионизирующих излучений космического пространства // Сб. ст. VI науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов Центра управления полетами. М.: ЦНИИмаш, 2016. С. 444—447.
7. Гончаров В. В., Филоненко П. А., Турчин М. Н. Актуальные задачи построения систем автоматического расчета надежности изделий РКТ // Информационно-технологический вестник. Королев, 2016. № 3(09). С. 25—29.
8. Филоненко П. А. Методика выбора режимов испытаний на надежность комплектующих элементов с учетом воздействия ионизирующих излучений // Сб. ст. VII науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов Центра управления полетами. М.: ЦНИИмаш, 2017. С. 399—404.
9. Филоненко П. А. Актуальные вопросы разработки автоматизированных систем контроля качества и надежности изделий РКТ на предприятиях ракетно-космической отрасли // Тез. докл. XX науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов. 10—14 ноября 2014 г. Королев: РКК „Энергия“ им. С. П. Королева, 2014. С. 619—621.
10. Филоненко П. А. Метод автоматизированного расчета надежности изделий на основе объединения информации из первичных документов о техническом состоянии и надежности // 13-я Междунар. конф. „Авиация и космонавтика—2014“. Москва, 17—21 ноября 2014 г. СПб: Мастерская печати, 2014. С. 471—472.
11. Филоненко П. А. Комплексная методика автоматизированного расчета надежности изделий ракетно-космической техники на основе объединения и обобщения данных, содержащихся в первичных информационных документах о результатах испытаний и эксплуатации // T-Comm – Телекоммуникации и транспорт. 2015. № 1. С. 61—66.

Сведения об авторах

- Владимир Владимирович Гончаров** — д-р техн. наук, старший научный сотрудник; „НИИ КС имени А. А. Максимова“ – филиал АО „ГКНПЦ им. М. В. Хруничева“; начальник комплекса – заместитель начальника центра по научной работе;
E-mail: baklanov@niiks.com
- Владимир Игоревич Бакланов** — канд. техн. наук; „НИИ КС имени А. А. Максимова“ – филиал АО „ГКНПЦ им. М. В. Хруничева“; начальник отдела;
E-mail: baklanov@niiks.com
- Александр Сергеевич Бурцев** — канд. техн. наук; „НИИ КС имени А. А. Максимова“ – филиал АО „ГКНПЦ им. М. В. Хруничева“; 994 подразделение; главный научный сотрудник; E-mail: baklanov@niiks.com
- Павел Альбертович Филоненко** — „НИИ КС имени А. А. Максимова“ – филиал АО „ГКНПЦ им. М. В. Хруничева“; заместитель начальника отдела;
E-mail: baklanov@niiks.com
- Татьяна Германовна Ерофеева** — „НИИ КС имени А. А. Максимова“ – филиал АО „ГКНПЦ им. М. В. Хруничева“; ведущий научный сотрудник;
E-mail: baklanov@niiks.com
- Михаил Николаевич Турчин** — „НИИ КС имени А. А. Максимова“ – филиал АО „ГКНПЦ им. М. В. Хруничева“; ведущий научный сотрудник;
E-mail: baklanov@niiks.com

Поступила в редакцию
26.02.18 г.

Ссылка для цитирования: Гончаров В. В., Бакланов В. И., Бурцев А. С., Филоненко П. А., Ерофеева Т. Г., Турчин М. Н. Технология оценки надежности элементов радиоэлектронной аппаратуры, длительно функционирующей в условиях космического пространства // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 7. С. 612—617.

TECHNOLOGY OF RELIABILITY ASSESSMENT FOR ELECTRONICS ELEMENTS, LONG FUNCTIONING UNDER CONDITIONS OF OUTER SPACE

V. V. Goncharov, V. I. Baklanov, A. S. Burtsev, P. A. Filonenko,
T. G. Erofeeva, M. N. Turchin

A. A. Maksimov Space Systems Research Institute – Branch
of Khrunichyev State Research and Production Space Center JSC,
141091, Moscow Region, Korolev, Russia
E-mail: baklanov@niiks.com

The task of providing the required level of reliability of space equipment and its elements and modules is especially urgent in modern conditions. To solve this problem, a technology has been developed for assessing the reliability of elements and modules of advanced special and scientific equipment for space applications that have been operating for a long time in the space environment. The technology is a set of provisions, rules, techniques, mathematical models, algorithms and methods for assessing the reliability of elements and modules of new samples of advanced special and scientific equipment for space applications implemented using software and hardware means. The developed technology and hardware and software complexes are expected to be used at the enterprises of the rocket and space industry, as well as in the head organization on the Roscosmos information system for automated evaluation and analysis of the reliability of prospective spacecraft samples at the design, development and operation stages.

Keywords: reliability, space vehicles, technology, automated systems

REFERENCES

1. Krivopalov D.M. *Aktual'nyye problemy sozdaniya kosmicheskikh sistem dstantsionnogo zondirovaniya Zemli* (Actual Problems of Creation of Space Systems of Earth Remote Sensing), Abstracts of the 4th Intern. Sci. and Pract. Conf., Moscow, 2016, pp. 79–81. (in Russ.)
2. Goncharov V.V., Burtsev A.S., Baklanov V.I., Filonenko P.A., Erofeeva T.G., Turchin M.N. *Materialy 51kh Nauchnykh chteniy pamyati K.E. Tsiolkovskogo* (Materials of 51 Scientific Readings Memory of K.E. Tsiolkovsky), Kaluga, 2016, pp. 126–127. (in Russ.)
3. Men'shikov V.A., Rudakov V.B., Sychev V.N. *Kontrol' kachestva kosmicheskikh apparatov pri obrabotke i proizvodstve. Optimizatsiya i upravleniye riskami* (Quality Control of Spacecraft During Development and Production. Optimization and Risk Management), Moscow, 2009, 400 p. (in Russ.)

4. Patrayev E.V., Maksimov Yu.V. *Journal of Instrument Engineering*, 2008, no. 8(51), pp. 5–12. (in Russ.)
5. Ishlinskiy A.Yu., ed., *Politekhnicheskii slovar'* (Polytechnic Dictionary), Moscow, 1989, 656 p. (in Russ.)
6. Goncharov V.V., Burtsev A.S., Filonenko P.A. *Sbornik statey VI nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov Tsentra upravleniya poletami* (Collection of Articles VI of a Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Specialists of Mission Control Center), TSNII-mash, Korolev, 2016, pp. 444–447. (in Russ.)
7. Goncharov V.V., Filonenko P.A., Turchin M.N. *Information Technology Bulletin*, State Educational Institution of Higher Education Moscow Region, 2016, no. 3(09), pp. 25–29 (in Russ.)
8. Filonenko P.A. *Sbornik statey VII nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov Tsentra upravleniya poletami* (Collection of Articles VII of a Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Specialists of Mission Control Center), TSNII-mash, Korolev, 2017, pp. 399–404. (in Russ.)
9. Filonenko P.A. *Tezisy dokladov XX nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov* (Abstracts of the XX Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Specialists), 10–14 November 2014, Korolev, 2014, pp. 619–621. (in Russ.)
10. Filonenko P.A. *13ya mezhdunarodnaya konferentsiya "Aviatsiya i kosmonavtika–2014"* (13th International Conference "Aircraft and Astronautics-2014"), 17–21 November 2014, Moscow, St. Petersburg, 2014, pp. 471–472. (in Russ.)
11. Filonenko P.A. *T-Comm: Telecommunications and transport*, 2015, no. 1, pp. 61–66. (in Russ.)

Data on authors

Vladimir V. Goncharov	—	Dr. Sci., Senior Scientist; A. A. Maksimov Space Systems Research Institute – Branch of Khrunichev State Research and Production Space Center JSC; Head of Complex – Deputy Head of Center for Scientific Work; E-mail: baklanov@niiks.com
Vladimir I. Baklanov	—	PhD; Senior Scientist; A. A. Maksimov Space Systems Research Institute – Branch of Khrunichev State Research and Production Space Center JSC, Department; Head of Department; E-mail: baklanov@niiks.com
Alexander S. Burtsev	—	PhD; A. A. Maksimov Space Systems Research Institute – Branch of Khrunichev State Research and Production Space Center JSC; Chief Researcher; E-mail: baklanov@niiks.com
Pavel A. Filonenko	—	A. A. Maksimov Space Systems Research Institute – Branch of Khrunichev State Research and Production Space Center JSC; Deputy Head of Department; E-mail: baklanov@niiks.com
Tatyana G. Erofeeva	—	A. A. Maksimov Space Systems Research Institute – Branch of Khrunichev State Research and Production Space Center JSC; Leading Researcher; E-mail: baklanov@niiks.com
Mikhail N. Turchin	—	A. A. Maksimov Space Systems Research Institute – Branch of Khrunichev State Research and Production Space Center JSC; Leading Researcher; E-mail: baklanov@niiks.com

For citation: Goncharov V. V., Baklanov V. I., Burtsev A. S., Filonenko P. A., Erofeeva T. G., Turchin M. N. Technology of reliability assessment for electronics elements, long functioning under conditions of outer space. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 7. P. 612–617 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-7-612-617