

УДК 004.023+629.7[085.2+84]+519.718.2

АНАЛИЗ ПУТЕЙ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ НАЗЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

¹Казakov Рус.Риф., ¹Басотин Е.В., ¹Миронов А.Н., ¹Казakov Раф.Рам., ²Шестопалова О.Л.

¹ФГКВБОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»,
Санкт-Петербург, e-mail: vka@mail.ru;

²Филиал «Восход», ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный
исследовательский университет)», Байконур, e-mail: neman2004@mail.ru

В статье проведен анализ путей решения проблемы управления жизненным циклом наземного оборудования ракетно-космических комплексов. Показано, что модернизация существующего РКК позволяет расширить и улучшить качество выполнения заданных функций и требований к РКК. Под модернизацией понимается один из путей улучшения функциональных свойств оборудования РКК, повышения его эксплуатационной надежности, снижения эксплуатационных затрат, состоящий в изменении отдельных деталей и узлов оборудования РКК, применении принципиально новых технических решений и совершенствовании системы эксплуатации оборудования РКК. Проведение цепочки последовательных модернизаций позволяет отдалить на значительный промежуток времени стадию окончания жизненного цикла РКК, что в свою очередь, позволяет управлять жизненным циклом РКК. Описана типовая траектория управления жизненным циклом РКК. Приведена формализованная постановка задачи исследования и рассмотрены основные пути ее решения.

Ключевые слова: ракетно-космические комплексы, жизненный цикл, модернизация

ANALYZES OF WAYS OF SOLVING THE PROBLEM OF MANAGEMENT OF THE SPACE ROCKET COMPLEXES GROUND EQUIPMENT LIFE-CYCLE

¹Kazakov Rus.Rif., ¹Basotin E.V., ¹Mironov A.N., ¹Kazakov Raf.Ram., ²Shestopalova O.L.

¹Mozhaisky Military Space Academy, Sankt-Petersburg, e-mail: vka@mail.ru;

²A Branch «Voskhod» of the Moscow Aviation Institute (national research university),
Baikonur, e-mail: neman2004@mail.ru

The paper analysis the ways of solving the problem of management of the space rocket complex ground equipment life-cycle. It is shown that modernization of the existing SRC makes it possible to extend and improve the quality of performing specified functions of and requirements to the SRC. Modernization is understood as a way to improve the functional properties of the SRC equipment, to increase its operational reliability and to reduce the operating costs. This way consist in changing the individual nodes of SRC equipment, in application of innovative technical solutions and in improving the system of operation of the SRC equipment. Conducting a chain of successive upgrades allows one to zoom out the final stage of the life-cycle of the SRC for a considerable time interval. It, in turn, makes it possible to control the life-cycle of the SRC. A typical trajectory of SRC life-cycle control is described. A formalized statement of the research objective and basic ways of the problem solution are shown.

Keywords: rocket-space complex, life-cycle, modernization

В настоящее время возрастает роль наземной космической инфраструктуры в обеспечении выполнения задач, возложенных на космические системы и комплексы различного назначения. Важную роль в составе наземной космической инфраструктуры играют различные ракетно-космические комплексы (РКК) и их составные части (СЧ), которым относятся, в частности, ракеты космического назначения (РКН), агрегаты и системы стартовых и технических комплексов. Проведенный анализ показал, что для СЧ РКК характерны: важность и интенсивность выполняемых задач, структурная и функциональная сложность, динамичность изменения технического состояния, ограниченность имеющихся материальных и финансовых ресурсов, существенная ограниченность

объема исходных данных как о фактическом состоянии СЧ РКК, так и о возможностях его улучшения. Вследствие неравнопрочности, объективно присущей составным частям РКК, они неравномерно расходуют заложенный при проектировании и изготовлении запас технического ресурса. Часть систем и агрегатов подвергается не только физическому, но и моральному старению из-за изменения требований к составу и качеству выполнения целевых функций, отставания элементной базы от современного уровня. В этих условиях невозможно обеспечить качественное выполнение задач, возлагаемых на РКК, только за счет проведения технического обслуживания, ремонта оборудования и продления назначенных показателей его ресурса и срока службы без модернизации.

Под модернизацией РКК будем понимать один из путей улучшения функциональных свойств СЧ РКК, повышения их эксплуатационной надежности, снижения эксплуатационных затрат, состоящий в изменении отдельных деталей и узлов СЧ РКК, применении принципиально новых технических решений и совершенствовании системы эксплуатации СЧ РКК. Модернизация, в отличие от доработок, позволяет расширить перечень и улучшить качество выполнения заданных функций относительно первоначально сформулированных требований в ТТЗ на РКК. Тем самым создаются условия по адаптации характеристик РКК к изменяющимся требованиям. Проведение цепочки последовательных модернизаций позволяет отдалить на значительный временной промежуток стадию окончания жизненного цикла РКК при поддержании тактико-технических характеристик и эксплуатационно-технических характеристик РКК

на требуемом уровне, т.е. целенаправленно управлять жизненным циклом РКК, как это отражено на рис. 1.

Двойной линией на данном рисунке условно показаны требования, предъявляемые к РКК. В случае несоответствия состояния РКК требованиям принимается решение о доработке, а затем о модернизации РКК. Когда модернизация и доработка не позволяют добиться соответствия требованиям, то рассматривается целесообразность разработки нового РКК, соответствующего текущим и прогнозируемым требованиям.

Обсуждение научной проблемы исследования

Под жизненным циклом РКК будем понимать последовательность фаз развития РКК от момента формирования его облика до момента прекращения его эксплуатации с последующей утилизацией. Типовая структура жизненного цикла РКК приведена на рис. 2.

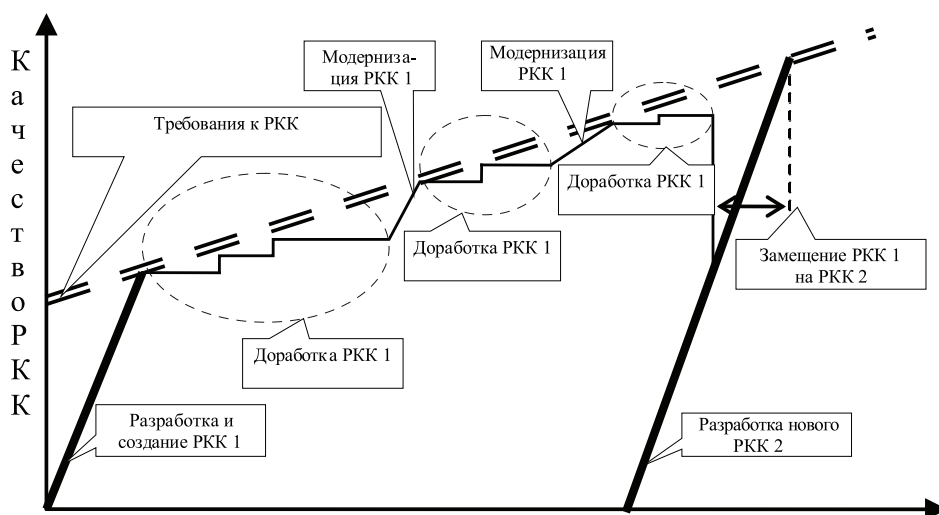


Рис. 1. Типовая траектория управления жизненным циклом РКК

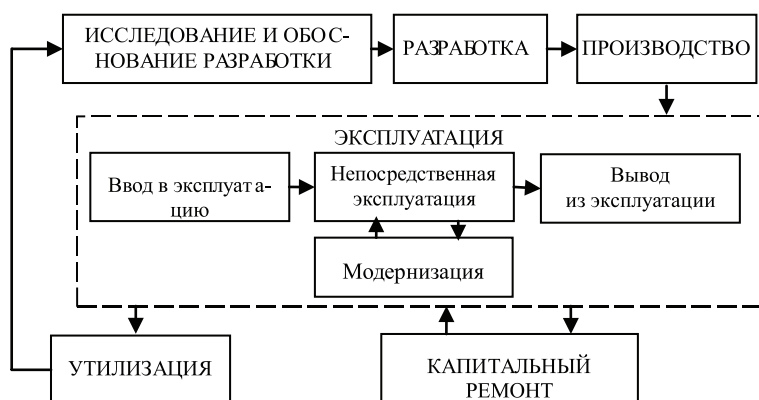


Рис. 2. Типовая структура жизненного цикла РКК

Под управлением жизненным циклом РКК будем понимать действия, связанные с организацией целенаправленного перехода системы из одного состояния в другое в рамках жизненного цикла.

С научной точки зрения проблема управления жизненным циклом наземного оборудования ракетно-космических комплексов может рассматриваться в двух аспектах: в широком – как задача оптимального управления развитием сложных динамических систем в условиях неопределенности, в узком – как задача управления состоянием РКК на стадии эксплуатации.

Фундаментальным исследованиям в рассматриваемой предметной области посвящены работы В.Н. Калинина, Б.А. Резникова [1], Дж. Саридиса [3], А.Г. Цвиркуна [6] и других авторов. Вопросы развития наземной космической инфраструктуры рассматривались Н.П. Сизяковым [4, 5], А.В. Логуновым [2] и другими авторами.

Вопросы управления техническим состоянием заправочного оборудования стартовых комплексов с учетом частичной его модернизации исследованы в докторской диссертации М.М. Пенькова, аспекты обоснования вариантов модернизации средств полигонного измерительного комплекса с учетом их физического и морального старения рассмотрены в работах О.Л. Шестопаловой [7–10].

Однако в целом проблема управления жизненным циклом наземного оборудования ракетно-космических комплексов исследована недостаточно. Особенно нуждаются в проработке вопросы технико-экономического обоснования параметров программ модернизации РКК различного назначения в паузах целевого применения. Пауза целевого применения РКК – это период времени между окончанием пусковых работ по одной РКН и началом соответствующих работ по другой РКН. Именно в этот период можно проводить работы над модернизацией РКК. Можно выделить по крайней мере три основные особенности обоснования параметров программ модернизации РКК. Во-первых, это чрезвычайно ресурсоемкий процесс по затратам финансовых, материальных и трудовых ресурсов, что налагает серьезную ответственность на планирующие органы при выборе варианта модернизации и способа его осуществления с необходимостью заблаговременного прогнозирования не только затрат на модернизацию, но и затрат на последующую эксплуатацию РКК для всех возможных вариантов модернизации. Во-вторых, это достаточно затратный процесс по времени выполнения работ по модернизации, что

значительно снижает уровень готовности РКК за счет роста коэффициента простоя РКК при реализации выбранного варианта модернизации и предопределяет необходимость проработки вопросов планирования выполнения работ в паузах целевого применения РКК. В-третьих, это процесс с неопределенностью в достижении целей модернизации, обусловленный сложностью решаемой задачи и ограниченным объемом доступных исходных данных. Эта неопределенность, с одной стороны, затрудняет оценку степени влияния модернизации на показатели надежности и эксплуатационных затрат. С другой стороны, она влияет и на сложность выбора наиболее предпочтительных вариантов модернизации из-за наличия многокритериальности целевых функций выбора.

По причинам высокой сложности и большой размерности решение рассматриваемой проблемы возможно путем декомпозиции на ряд частных, логически связанных задач, а именно: формулирование постановки задачи исследований; проведение исследований по обоснованию потребности в модернизации РКК; проведение исследований по прогнозированию частных показателей вариантов модернизации РКК; проведение исследований по выбору предпочтительного варианта модернизации РКК; проведение исследований по экспериментальной апробации научно-методического обеспечения технико-экономического обоснования параметров программ модернизации, реализуемых в паузах целевого функционирования.

Содержательная постановка задачи исследований заключается в том, чтобы при известных исходных данных: о требованиях к ракетно-космическому комплексу; о возможностях РКК по составу и качеству выполнения требуемых функций; о затратах на выполнение элементарных операций по модернизации РКН и наземного оборудования РКК; о затратах на выполнение элементарных операций по эксплуатации модернизированного оборудования; о структуре процесса целевого применения РКК; о величине активных, трудовых, финансовых и материальных ресурсов – разработать научно-методическое обеспечение (НМО), позволяющее решить группу задач, состоящих: из обоснования потребности в модернизации РКК, прогнозирования совокупных затрат на модернизацию и последующую эксплуатацию РКК, ранжирования вариантов модернизации РКК по предпочтительности.

Формализованная постановка задачи исследования приведена ниже.

Дано:

$$W_{\text{РКК}}^{\text{ТР}}, W_{\text{РКК}}^{\text{ФАКТ}}, C_i^{\text{М}}, C_j^{\text{Э}}, V_{\text{ВМ}}^{\text{К}}$$

$$\text{Str}\{\Delta T_{\text{пауз}}\}, G_{\text{ТР}}, G_{\text{ФИН}}, G_{\text{МАТ}}$$

где $W_{\text{РКК}}^{\text{ТР}}$ – требования к РКК; $W_{\text{РКК}}^{\text{ФАКТ}}$ – возможности РКК по составу и качеству выполнения требуемых функций; $C_i^{\text{М}}$ – затраты на выполнение элементарных операций по модернизации РН и наземного оборудования РКК; $C_j^{\text{Э}}$ – затраты на выполнение элементарных операций по эксплуатации модернизированного оборудования; $V_{\text{ВМ}}^{\text{К}}$ – объем работ варианта по реализации модернизации; $\text{Str}\{\Delta T_{\text{пауз}}\}$ – структура процесса модернизации в паузах целевого применения; $G_{\text{ТР}}$ – величина трудовых ресурсов; $G_{\text{ФИН}}$ – величина финансовых ресурсов; $G_{\text{МАТ}}$ – величина материальных ресурсов.

Найти:

$$\text{НМО} = \{M_{\text{О.П.М}}^{\text{РКК}}; M_{\text{П.С.З}}^{\text{М.Э}}; M_{\text{Р.В.М}}\};$$

$$M_{\text{О.П.М}}^{\text{РКК}} : \Phi = b_{\text{О.П.М}} (W_{\text{РКК}}^{\text{ТР}}; W_{\text{П.С.З}}^{\text{М.Э}}); \quad b \in \{0; 1\};$$

$$M_{\text{П.С.З}}^{\text{М.Э}} : \Phi_{\sum_1}^{\text{М.Э}} = C_{\text{П.С.З}} (C_i^{\text{М}}; C_j^{\text{Э}}; \text{Str}\{C_i\}; \text{Str}\{C_j\});$$

$$M_{\text{Р.В.М}} : \Xi_{\text{М.РКК}}^{\text{ПЛ}} = \{v_k^*, \Phi_k^*\} =$$

$$= T_{\text{М.РКК}}^{\text{ПЛ}} (V_{\text{ВМ}}^{\text{К}}, \text{Str}\{\Delta T_{\text{пауз}}\}; G_{\text{Э}}^{\text{РЕС}} = \{G_{\text{ТР}}; G_{\text{ФИН}}; G_{\text{МАТ}}\});$$

$$E(\Xi_{\text{М.РКК}}^{\text{ПЛ}}) \rightarrow \max;$$

$$g_{\text{ТР}} \leq G_{\text{ТР}}; g_{\text{ФИН}} \leq G_{\text{ФИН}}; g_{\text{МАТ}} \leq G_{\text{МАТ}}$$

где $M_{\text{О.П.М}}^{\text{РКК}}$ – модель обоснования потребности в модернизации РКК; $M_{\text{П.С.З}}^{\text{М.Э}}$ – модель прогнозирования совокупных затрат на модернизацию и последующую эксплуатацию РКК; $M_{\text{Р.В.М}}$ – модель ранжирования вариантов модернизации по предпочтительности; v_k^* – объем работ в K -й паузе целевого применения; T_k^* – параметры K -й паузе целевого применения; $\Xi_{\text{М.РКК}}^{\text{ПЛ}}$ – план работ (программа) модернизации РКК; b – бинарная переменная наличия (отсутствия) потребности в модернизации; E – показатель качества процесса модернизации; $g_{\text{ТР}} \leq G_{\text{ТР}}; g_{\text{ФИН}} \leq G_{\text{ФИН}}; g_{\text{МАТ}} \leq G_{\text{МАТ}}$ – фактические значения затрат на модернизацию по видам ресурсов.

Обсуждение особенностей решения частных задач исследования

Взаимосвязь частных задач исследования и этапность их решения приведены на рис. 3 и 4.

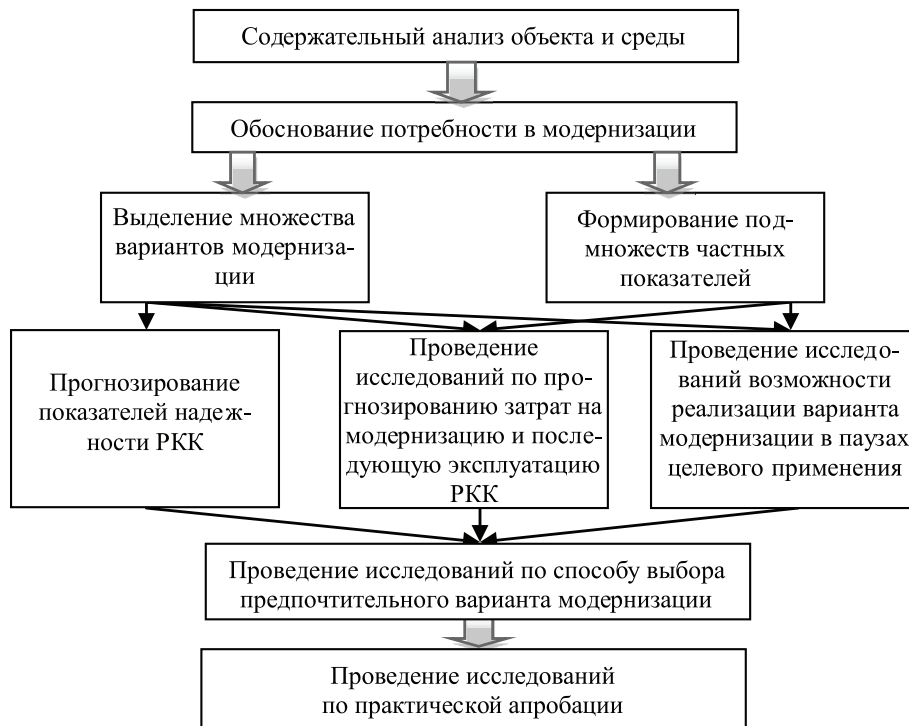


Рис. 3. Этапы решения задач исследования

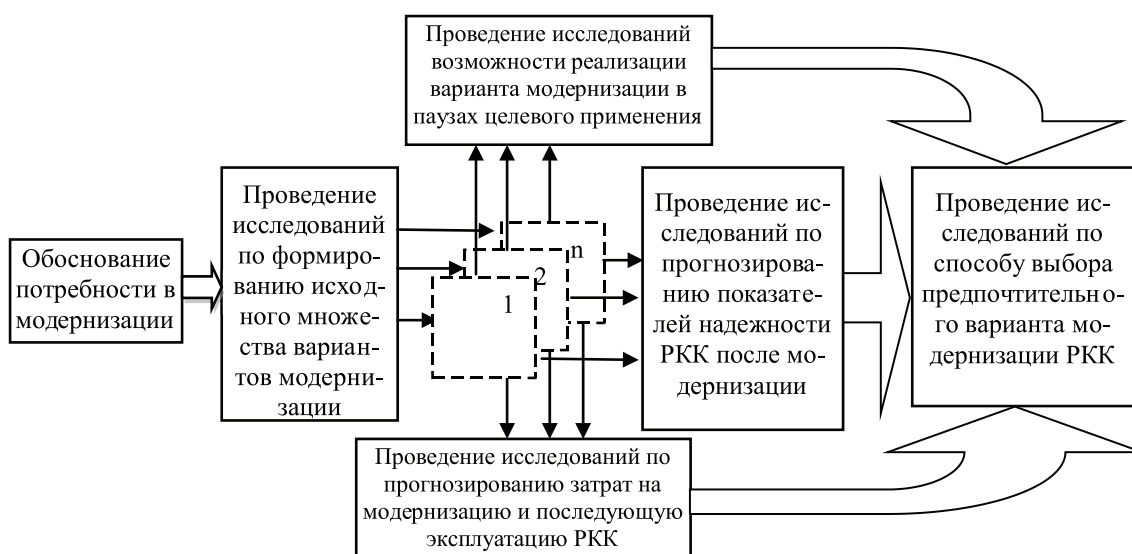


Рис. 4. Взаимосвязь задач обоснования варианта модернизации РКК

Особенностью решения задачи обоснования потребности в модернизации РКК является необходимость разработки соответствующей математической модели, которая должна учитывать четыре основных фактора, формирующих потребность в модернизации.

Во-первых, это расширение состава задач по подготовке к выведению и выведению КА на околоземную орбиту, выходящее за рамки существующих технических возможностей РКК. Во-вторых, повышение требований к техническим характеристикам оборудования РКК. В-третьих, снижение возможностей восстановления ресурса, связанное с исчерпанием запасов комплектующих элементов оборудования РКК из-за снятия их с производства. И, наконец, возрастание эксплуатационных затрат из-за увеличения интенсивности отказов средств и сопутствующих расходов на техническое обслуживание и ремонт.

Совместное действие этих факторов приводит к исчерпанию остаточного ресурса оборудования РКК по критериям морального и физического старения. Количественные значения частных показателей потребности в модернизации оборудования РКК будем определять как израсходованную долю первоначального запаса ресурса РКК по рассматриваемому фактору.

Особенностью прогнозирования показателя совокупных затрат является применение двухуровневого моделирования структуры затрат: на уровне РКК и на уровне

не составных частей РКК и необходимость адекватного учета в моделях реальной степени неопределенности исходных данных.

При решении задачи ранжирования вариантов модернизации РКК по предпочтительности необходимо учитывать возможность многокритериального сравнения вариантов модернизации по показателям полноты и длительности выполнения программы модернизации, реализуемой в паузах целевого применения РКК и с учетом фактического обеспечения ресурсами.

Выводы

Проведенный анализ показал, что в современных условиях одним из основных путей решения проблемы управления жизненным циклом наземного оборудования ракетно-космических комплексов является его модернизация. Для формирования программы модернизации РКК необходимо выполнить ряд условий, к которым относятся: обоснование потребности в модернизации оборудования РКК; формирование исходного множества вариантов модернизации; прогнозирование показателей надежности РКК после модернизации; прогнозирование затрат на модернизацию и последующую эксплуатацию РКК; исследование возможности реализации вариантов модернизации в паузах целевого применения РКК; выбор предпочтительного варианта модернизации РКК.

Анализ современного состояния научно-методического обеспечения управления

развитием сложных технических систем показал, что существует необходимость дальнейшего развития научно-методического обеспечения в направлении наиболее полного учета особенностей РКК как объекта исследования. В связи с чем в статье выделены частные задачи исследования путей решения рассматриваемой проблемы, указаны особенности их решения и представлена формализованная постановка задачи исследования.

Список литературы

1. Калинин В.Н. Теория систем и оптимального управления (структурно-математический подход) / В.Н. Калинин, Б.А. Резников. – Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1978. – 417 с.
2. Логунов А.В. Методика технико-экономического обоснования вариантов модернизации составных частей наземной космической инфраструктуры // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4. – URL: www.science-education.ru/id=9786.
3. Саридис Дж. Самоорганизующиеся стохастические системы управления. – М.: Наука, 1980. – 400 с.
4. Сизяков Н.П. Прогнозирование соответствия характеристик космических средств предъявляемым требованиям на основе использования нечеткой регрессионной модели / Н.П. Сизяков, О.Л. Шестопалова // Информация и космос. – 2010. – № 1. – С. 83–86.
5. Сизяков Н.П. Планирование поэтапной реализации инновационных программ развития комплексов космических средств в условиях неопределенности информации о временных, ресурсных и технологических ограничениях / Н.П. Сизяков, О.Л. Шестопалова // Информация и космос. – 2010. – № 1. – С. 83–86.
6. Цвиркун А.Д. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем. Синтез и планирование развития / А.Д. Цвиркун, В.К. Акинфиев – М.: Наука, 1993. – 160 с.
7. Шестопалова О.Л. Автоматизация контроля состояния сложных технических систем на основе использования конечно-автоматной модели и нейросетевых структур / В.Б. Вечеркин, А.И. Лоскутов, О.Л. Шестопалова // Информационно-управляющие системы. – 2012. – № 2 (57). – С. 74–81.
8. Шестопалова, О.Л. Определение оптимального варианта развития систем телекоммуникационного обеспечения эксплуатации и применения ракетно-космических комплексов в нечетко заданных условиях / В.Л. Витюк, Е.А. Мионов, Д.А. Севастьянов, О.Л. Шестопалова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: www.science-education.ru/121-18052.
9. Шестопалова, О.Л. Прогнозирование моральной долговечности распределенных информационных систем

с учетом прогрессирующих ограничений на возможности восстановления ресурса элементной базы // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6; URL: www.science-education.ru/id=11078.

10. Шестопалова, О.Л. Прогнозирование срока службы информационной системы с учетом морального старения элементной базы технических средств / О.Л. Шестопалова, А.В. Муравьев // Транспортное дело России. – 2014. – № 6. – С. 186–189.

References

1. Kalinin V.N., Reznikov B.A. Teoriya system i optimalnogo upravleniya (strukturno-matematicheskii podkhod). L.: VIKLim. A.F. Mozhayskogo, 1978. pp. 417.
2. Logunov A.V. Metodika tekhniko-ekonomicheskogo obosnovaniya variantov modernizatsii sostavnykh chastey nazemnoy kosmicheskoy infrastruktury. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya, 2013, no. 4, available at: www.science-education.ru/id=9786.
3. Saridis Dzh. Samoorganizuyushiesya stokhasticheskie sistemy upravleniya. M: Nauka, 1980. pp. 400.
4. Sizyakov N.P., Shestopalova O.L. Prognozirovaniye sootvetstviya kharakteristik kosmicheskikh sredstv predyavlyayemym trebovaniyam na osnove ispolzovaniya nechetkoy regressionnoy modeli. Informatsiya i kosmos, 2010, no. 1, pp. 83–86.
5. Sizyakov N.P., Shestopalova O.L. Planirovaniye po etapnoy realizatsii innovatsionnykh program razvitiya kompleksov kosmicheskikh sredstv v usloviyakh neopredelennosti informatsii o vremennykh, resursnykhi tekhnologicheskikh ogranicheniyakh. Informatsiya i kosmos, 2010, no. 1, pp. 83–86.
6. Akinfeev V.K., Tsvirkun A.D. Struktura mnogourovnevnykh i krupnomashtabnykh sistem. Sintez i planirovaniye razvitiya. M: Nauka, 1993. pp. 160.
7. Vecherkin V.B., Loscutov A.I., Shestopalova O.L. Avtomatizatsiya kontrolya sostoyaniya slozhnykh tekhnicheskikh sistem na osnove ispolzovaniya konechno-avtomatnoy modeli i neyrosetevykh struktur. Informatsionno-upravlyayushchie sistemy, 2012, no. 2 (57), pp. 74–81.
8. Vityuk V.L., Mironov E.A., Sevastyanov D.A., Shestopalova O.L. Opredeleniye optimalnogo variant razvitiya sistem telekommunikatsionnogo obespecheniya ekspluatatsii i primeneniya raketno-kosmicheskikh kompleksov v nechetko zadannykh usloviyakh. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya, 2015, no. 1, available at: www.science-education.ru/121-18052.
9. Shestopalova O.L. Prognozirovaniye moralnoy dolgovechnosti raspredelennykh informatsionnykh sistem s uchetom progressiruyushchikh ogranicheniy na vozmozhnosti vosstanovleniya resursa elementnoy bazy. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya, 2013, no. 6, available at: www.science-education.ru/id=11078.
10. Muravev A.V., Shestopalova O.L. Prognozirovaniye stroka sluzhby informatsionnoy sistemy s uchetom moralnogo stareniya elementnoy bazy tekhnicheskikh sredstv. Transportnoye delo v Rossii, 2014, no. 6, pp. 186–189.