

---

Миронов Е.А., Ниязова Ю.М., Шестаков А.В., Шестопалова О.Л. Обоснование путей совершенствования моделей обработки информации в задаче прогнозирования предельных сроков службы космических аппаратов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования, 2017. № 6(40).

УДК 004.023:[504.054+504.064.2]

## **ОБОСНОВАНИЕ ПУТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ СРОКОВ СЛУЖБЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

**Миронов Е.А.**, кандидат технических наук, доцент, ФГОУ ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»

**Ниязова Ю.М.**, кандидат экономических наук, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»

**Шестаков А.В.**, «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

**Шестопалова О.Л.**, кандидат технических наук, доцент, Байконурский филиал «Московского авиационного института (национального исследовательского университета)»

*В статье описаны пути совершенствования моделей обработки информации в задаче прогнозирования предельных сроков службы космических аппаратов. Обоснована целесообразность перехода от мономодельной к полимодельной обработке исходной информации об изменении во времени параметров технического состояния и остаточного ресурса бортовой аппаратуры космических аппаратов. Значения допустимых границ изменения параметров технического состояния предлагается оценивать экспертно с применением теории нечетких множеств. Описанные модели в совокупности предлагается реализовать в рамках информационно-аналитической системы прогнозирования предельного срока службы космических аппаратов. Применение информационно-аналитической системы дает возможность автоматизировать основные процедуры обработки информации при решении задачи прогнозирования предельных сроков службы космических аппаратов.*

**Ключевые слова:** космический аппарат, бортовая аппаратура, предельный срок службы, информационно-аналитическая система, прогнозирование.

## THE WAYS OF IMPROVEMENT OF THE MODELS INFORMATION PROCESSING IN THE PROBLEM OF PREDICTION SPACECRAFT DEADLINES SERVICE

**Mironov E.A.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, FGOU VPO  
«Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky»

**Niyazova Yu.M.**, candidate of economic sciences, «Moscow State University of  
Geodesy and Cartography»

**Shestakov A.V.**, «Moscow Aviation Institute (National Research University)»

**Shestopalova O.L.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Baikonur Branch of the «Moscow Aviation Institute (National Research  
University)».

*The article describes ways of improving models of information processing in the problem of prediction limits for service spacecraft. The expediency of transition from monomodeling to polimodeling processing of the initial information about the time variation of the parameters of the technical condition and residual life of onboard spacecraft equipment. The allowable ranges of parameters of the technical condition is proposed to evaluate the expert using the theory of fuzzy sets. The models are proposed to be undertaken within the framework of the information-analytical system of forecasting of a deadline of spacecraft service. The use of the information-analytical system gives you the ability to automate basic procedures of information processing while solving the task of forecasting the limit of the service life of the spacecraft.*

**Keywords:** the spacecraft, onboard equipment, the deadline for service, information-analytical system, forecasting.

---

В настоящее время на базе комплексного создания и взаимодействия различных отечественных космических систем создана система космического информационного обеспечения (СКИО), предназначенная для информационной поддержки решения широкого спектра экономических, научных и оборонных задач государства [6]. В условиях воздействия факторов космического пространства бортовая аппаратура (БА) космических

аппаратов (КА) может переходить в предельное состояние из-за возникновения ресурсных (неустраняемых) отказов [3-5]. Снижение уровня укомплектованности орбитальных группировок (ОГ) КА может привести и, как показывает практика, зачастую приводит к снижению возможностей СКИО. Поэтому потребность в достоверных и оперативных прогнозах предельного срока службы (ПСС) КА в данной ситуации не вызывает сомнений.

Задача прогнозирования ПСС КА в отличие от других задач прогнозирования имеет свои специфические особенности, а именно: имеется разнообразие характеристик случайных процессов изменения параметров технического состояния (ТС) БА КА (как для одного типа элементов, так и для разных типов элементов БА); наблюдается зависимость случайного процесса ошибок измерений, как от внутренних, так и внешних воздействующих факторов, в том числе связанных с воздействиями факторов космического пространства (ФКП) на БА КА и каналы измерений и передачи информации; имеет место переменность объема исходных данных (количества точек временных рядов (ВР), представляющих результаты контроля), связанная с появлением неоднородности в выборках результатов измерений; в наличии широкое варьирование объема априорной информации об изменении параметров аналогичных элементов; существует возможность появления потребности в корректировании требований к точности и достоверности прогнозирования; при длительном функционировании КА проявляется нестабильность условий эксплуатации БА КА в условиях внутренних и внешних воздействующих факторов, влияющая на фактические значения допустимых пределов изменения параметров технического состояния [1].

Обобщая данные особенности, можно сделать вывод о том, что для рассматриваемой задачи, во-первых, характерно широкое варьирование начальных условий прогнозирования ТС как по характеристикам БА КА, так

и по объему априорных и апостериорных исходных данных. Во-вторых, имеет место существенное влияние внешних воздействующих факторов естественного и искусственного происхождения на техническое состояние и условия эксплуатации бортовой аппаратуры КА, которое, в свою очередь приводит к изменению границ эксплуатационных допусков параметров ТС БА КА [3-5].

Под прогнозной ситуацией будем понимать сложившееся к моменту прогнозирования сочетание факторов, характеризующих объект и условия прогнозирования. Объектами прогнозирования в нашем случае являются заданные в технической документации на БА КА параметры технического состояния БА КА, выход которых за установленные пределы трактуется как параметрический отказ БА КА. Результаты периодического контроля параметров технического состояния представляются в виде временных рядов, т.е. упорядоченной во времени совокупности значений контроля параметров ТС БА КА, через дискретные равноотстоящие интервалы времени [2].

Под условиями прогнозирования параметров ТС БА КА будем понимать совокупность факторов, определяющих количество и качество доступной исходной априорной и апостериорной информации об изменении ТС БА КА в процессе эксплуатации, а также цель получения прогноза и предъявляемые требования к точности и достоверности прогнозирования.

Условия прогнозирования включают: цель получения прогноза, предъявляемые требования к точности и достоверности прогнозирования ТС БА КА, условия измерений (степень «зашумленности» результатов измерений, соотношение гауссовой и негауссовой шумовых компонент, степень присутствия грубых ошибок измерений и т.п.).

Особенностью реального процесса прогнозирования ТС БА КА является принципиальная нестабильность прогнозной ситуации. Многообразие БА КА и условий прогнозирования ТС БА КА порождает многовариантность прогнозных ситуаций. Изменчивость прогнозной

ситуации обусловлена как периодической сменой объекта прогнозирования (БА КА) в процессе контроля ТС БА КА, так и меняющимися условиями прогнозирования [1].

Следовательно, в зависимости от конкретной прогнозной ситуации будут существенно отличаться начальные условия, определяющие требования и ограничения к применяемому методу прогнозирования ТС БА КА. Эти отличия прежде всего касаются следующих моментов: характеристик случайных процессов изменения определяющих параметров БА КА; характеристик случайного процесса ошибок измерений; объёма исходных данных (количества точек временного ряда, представляющего результаты контроля, объёма априорной информации о параметрах аналогичных элементов). При разработке подходов к обработке информации в задаче прогнозирования ПСС БА КА необходимо учитывать возможность широкого варьирования перечисленных выше факторов.

Исходя из этого, методология обработки информации в задаче прогнозирования ПСС БА КА должна базироваться на следующих основополагающих принципах.

Принцип 1. Возможно более полный учёт физических особенностей построения и функционирования БА КА в целом и индивидуальных особенностей изменения ТС БА КА, в частности, при построении моделей обработки информации.

Принцип 2. Адаптивный учёт изменения количества и качества используемой при прогнозировании ПСС БА КА исходной информации, и автоматизация основных процедур построения прогнозирующих моделей и получения результатов расчётов.

Наиболее полная реализация перечисленных принципов возможна на базе информационно-аналитической системы (ИАС) прогнозирования ПСС БА КА.

При создании математического обеспечения функционирования ИАС ПСС БА КА невозможно, как показывает анализ, ограничиться какой-либо одной моделью прогнозирования ТС БА КА. В зависимости от конкретной ситуации нужно использовать определённую модель прогнозирования. Эффективное решение задачи прогнозирования ТС БА КА при описанных выше условиях возможно только на основе полимодельного (многомодельного) подхода. Особенности реализации такого подхода поясняет рис. 1.

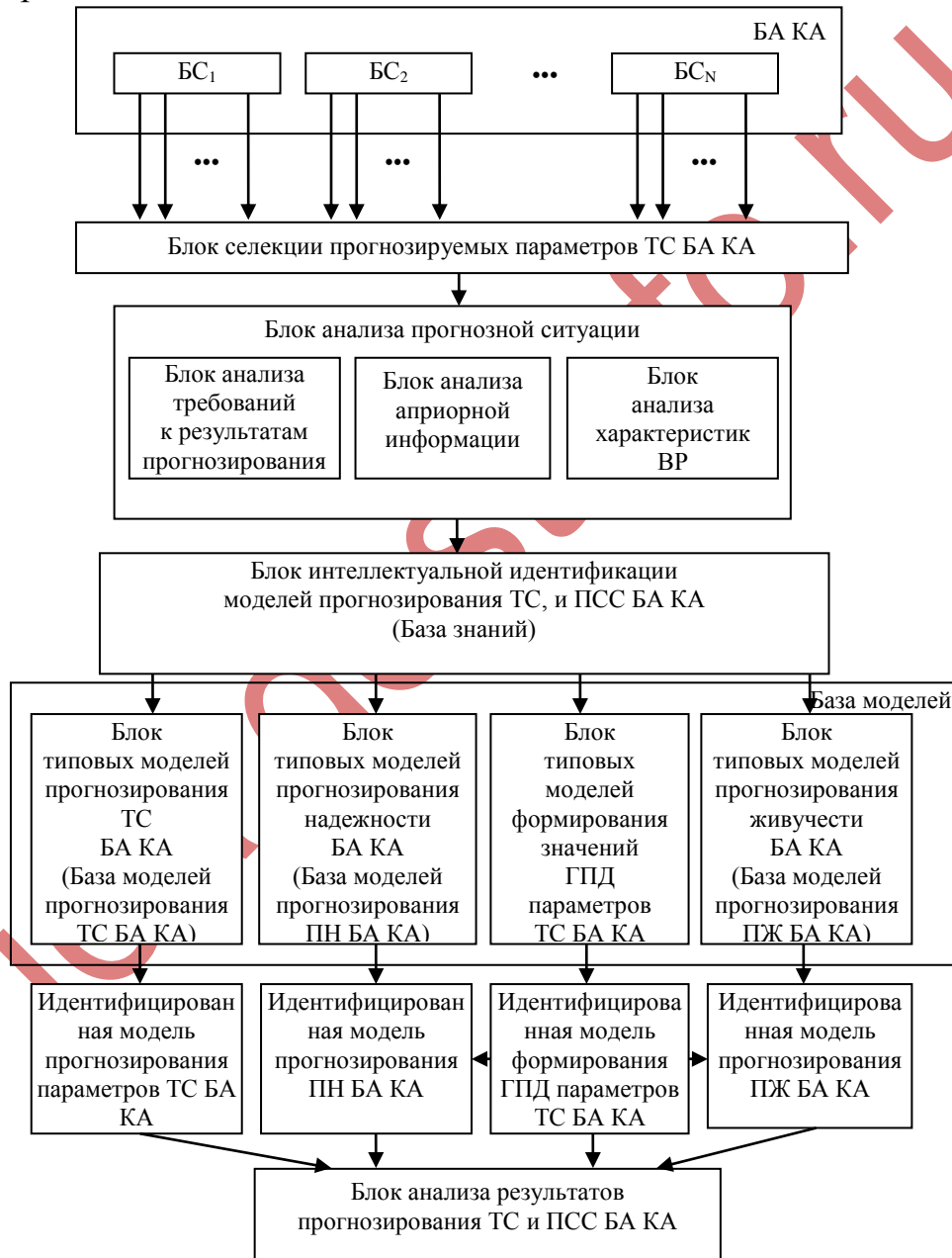


Рис. 1. Сущность полимодельного подхода обработки информации в ИАС прогнозирования ПСС БА КА

Сущность полимодельного подхода к обработке информации в задаче прогнозирования ПСС БА КА заключается:

во-первых, в формировании базы моделей предметной области, состав которой должен быть адаптирован к множеству прогнозных ситуаций объекта прогнозирования;

во-вторых, в применении автоматизированной адаптивной процедуры выбора конкретной прогнозной модели из базы моделей с учетом характеристик фактической прогнозной ситуации и опыта специалистов – экспертов в области прогнозирования, формализованного в соответствующей базе знаний;

в-третьих, в учете влияния возможных неблагоприятных воздействий ФКП на условия функционирования и техническое состояние бортовой аппаратуры КА путем коррекции значений границ поля допуска параметров ТС БА КА в моделях прогнозирования [5].

В настоящее время разработаны общетеоретические основы полимодельной адаптивной идентификации прогнозирующих моделей, включая вопросы квалиметрии полимодельных комплексов (труды Соколова Б.В. и Юсупова Р.М.), а также вопросы управления структурной реконфигурацией полимодельных комплексов, базирующиеся на трудах таких ученых, как Вапник В.Н., Дмитриев А.К., Ивахненко А.Г., Калинин В.Н., Каминская В.А., Ломакин М.И., Миронов А.Н., Резников Б.А., Соколов Б.В., Талов О.В. и других. Вместе с тем, наблюдается дефицит работ, в которых бы на более детальном уровне исследовались бы особенности построения и функционирования ИАС как полимодельных адаптивных прогнозирующих систем, учитывающих специфику прогнозирования ТС и остаточного срока службы БА КА.

Учитывая создавшееся положение, можно говорить о наличии системного противоречия, которое выражается в необходимости поддержания готовности ОГ КА к выполнению задач по космическому

информационному обеспечению путем своевременного восполнения ОГ на основе прогнозов ПСС БА КА и недостаточным уровнем разработки научно-методического обеспечения для ИАС прогнозирования ПСС БА КА, учитывающего возможные неблагоприятные нечетко определенные воздействия ФКП на условия эксплуатации БА, а также многообразие БА КА и условий прогнозирования ТС, порождающее многовариантность прогнозных ситуаций с нечеткой неопределенностью.

Наличие указанного противоречия определяет существование актуальной *научной задачи* разработки информационно-аналитической системы прогнозирования предельных сроков службы космических аппаратов при нечеткой форме неопределенности влияния факторов космического пространства на условия функционирования бортовой аппаратуры.

Целью исследования является разработка информационно-аналитической системы прогнозирования предельных сроков службы космических аппаратов с длительными сроками активного существования при нечеткой форме неопределенности влияния факторов космического пространства на условия функционирования бортовой аппаратуры.

Содержательная постановка задачи состоит в следующем:

При заданных исходных данных о параметрах прогнозной ситуации (условиях прогнозирования, характеристиках ВР параметров ТС; объеме априорной и апостериорной информации, предполагаемых параметрах неблагоприятных воздействий внешних факторов на условия эксплуатации БА КА); о составе полного множества моделей прогнозирования в рассматриваемой предметной области (моделей прогнозирования ТС БА и предельного срока службы БА КА) необходимо разработать научно-методическое обеспечение функционирования ИАС полимодельного адаптивного прогнозирования ТС БА КА.



Полезный эффект от решения сформулированной научной задачи заключается в снижении методической составляющей ошибки прогнозирования ТС БА КА путем внедрения полимодельного адаптивного подхода к выбору конкретной прогнозной модели из базы моделей с учетом характеристик фактической прогнозной ситуации и опыта специалистов – экспертов в области прогнозирования, формализованного в соответствующей базе знаний.

Формализованная постановка задачи заключается в следующем:

Дано: 1. Прогнозная ситуация (ПрС):  $P.S. = \langle Z_t, O_{\langle Q \rangle}^{Прогн}; I_{Апр.}, НВ_{\{J\}}^{Пром} \rangle$ ,

где  $Z_t$  - временной ряд (ВР) результатов телеметрического контроля ТС БА КА  $O_{\langle Q \rangle}^{Прогн}$  - параметры ВР (количество отсчетов на интервале корреляции, степень нерегулярности (случайности) ВР, степень зашумленности ВР);  $I_{Апр.}$  - объем априорной информации (количество однотипных ВР в базе измерений);  $НВ_{\{J\}}^{Пром}$  - возможные неблагоприятные воздействия ФКП на условия функционирования и техническое состояние бортовой аппаратуры КА;  $\alpha, \gamma$  - параметры доверительной вероятности и уровня для прогнозирования ТС и ОСС. 2.  $M_{\{W\}}^{Мод.} = \{M_1, M_2, \dots, M_W\}$  - исходное полное множество моделей прогнозирования ТС.

Найти: Такое научно-методическое обеспечение (НМО):  $НМО = Met\{R_{БМ}, R_{БЗ}, R_{МОД}, R_{Прогн}, R_{ДПИ}, R_{ОСС}\}$ , где  $R_{БМ}$  - процедура формирования базы моделей (БМ);  $R_{БЗ}$  - процедура формирования базы знаний (БЗ);  $R_{МОД}$  - процедура выбора предпочтительной модели  $M^*$  из БМ;  $R_{Прогн}$  - процедура прогнозирования ВР;  $R_{ДПИ}$  - процедура определения значений допустимых пределов изменения (границ полей допусков) параметров ТС БА;  $R_{ОСС}$  - процедура прогнозирования предельного срока службы БА КА, что:

1.  $M_{\{W'\}}^{*Mod.} = R_{БМ} (M_{\{W\}}^{Mod.})$ ,  $M_{\{W'\}}^{*Mod.} \subseteq M_{\{W\}}^{Mod.}$ ,  $M_{\{W'\}}^{*Mod.}$  - БМ прогнозирования ТС;  $M_{\{W\}}^{Mod.} = \{M_1, M_2, \dots, M_W\}$ ,  $M_{\{W'\}}^{*Mod.} = \{M_1, M_2, \dots, M_{W'}\}$ ;
2.  $M^* = R_{МОД} (R_{БЗ}, P.S., M_{\{W'\}}^{Mod.})$ ;  $M^* = M_w \mid \varepsilon(M^*) \leq \varepsilon(M_w), M_w \in M_{\{W'\}}^{*Mod.}, M_w \neq M^*$ ;
3.  $\tilde{Z}_t(L) = R_{Прогн} (Z_t, L)$ ,  $\tilde{Z}_t(L)$  - прогнозное значение ВР с упреждением  $L$ ;
4.  $\Delta_{ГПД}^{e(n)} = R_{ДПИ} (HB_{\{J\}}^{Пром.})$ ; 5.  $t_\gamma = R_{ОСС} (\gamma, \Delta_{ГПД}^{e(n)}, \tilde{Z}_t(L))$ ,

где  $\varepsilon(M^*)$  - минимальная методическая погрешность прогнозирования ТС и предельного срока службы БА КА.

Перечисленные в п.п. 1-4 процедуры должны выполняться в автоматическом, либо автоматизированном режиме с соответствующей координацией взаимодействия между алгоритмами решения задач по входной и выходной информации в рамках ИАС ПСС БА КА.

Сформулированная задача исследований является достаточно сложной и многоаспектной для непосредственного решения. В связи с чем, она декомпозирована на ряд частных логически связанных частных задач исследования, включающих:

1. Анализ особенностей изменения параметров технического состояния БА КА и существующего научно-методического обеспечения прогнозирования предельного срока службы БА КА с ДСАС с использованием информационно-аналитической системы.

2. Разработку научно-методического обеспечения функционирования ИАС полимодельного адаптивного прогнозирования ТС БА КА, включающего: структуру и алгоритм построения ИАС на основе принципа полимодельной адаптивной идентификации; частную методику автоматической идентификации структурных параметров моделей прогнозирования ПСС БА КА с ДСАС класса комбинированной авторегрессии - скользящего среднего; модель прогнозирования

предельного срока службы БА КА с ДСАС при нечеткой информации о влиянии воздействующих ФКП на условия эксплуатации.

3. Проведение исследований по экспериментальной апробации разработанного научно-методического обеспечения.

В результате решения перечисленных задач исследования должны быть:

1. Разработаны структура и алгоритм построения ИАС прогнозирования ПСС БА КА с ДСАС на основе принципа полимодельной адаптивной идентификации, предполагающего извлечение и использование экспертных знаний для выбора класса и структурных параметров прогнозирующей модели и оценивания значений границ поля допуска параметров ТС БА в условиях конкретной прогнозной ситуации.

2. Разработана методика автоматической идентификации структурных параметров прогнозирующей модели класса комбинированной авторегрессии – скользящего среднего, позволяющая реализовать в автоматическом режиме логику эксперта по выбору порядка операторов авторегрессии, скользящего среднего и взятия разностей.

3. Разработана модель прогнозирования предельного срока службы БА КА с ДСАС при неопределенном характере информации о влиянии воздействующих факторов на условия эксплуатации, допускающая нечеткое описание границ поля допуска параметров ТС БА с использованием экспертной информации о влиянии воздействующих факторов на условия эксплуатации БА.

Степень новизны описанного в статье подхода заключается в том, что:

1. Предлагаются структура и алгоритм построения ИАС прогнозирования ПСС БА КА с ДСАС на основе принципа полимодельной адаптивной идентификации, заключающегося в извлечении и использовании экспертных знаний для выбора класса и структурных параметров прогнозирующей модели из базы моделей и оценивания значений

границ поля допуска параметров ТС в условиях конкретной прогнозной ситуации;

2. Разрабатывается методика автоматической идентификации структурных параметров прогнозирующей модели класса комбинированной авторегрессии – скользящего среднего, позволяющая реализовать в автоматическом режиме логику эксперта по выбору порядка операторов авторегрессии, скользящего среднего и взятия разностей в задаче полимодельного прогнозирования ТС БА КА;

3. Разрабатывается модель прогнозирования ПСС БА КА при нечеткой информации о влиянии ФКП на условия эксплуатации БА, позволяющая получить прогнозные значения показателей долговечности БА КА при нечетком описании границ поля допуска параметров ТС БА, позволяющем учесть возможные ФКП на условия эксплуатации БА КА.

#### Выводы.

В статье описаны пути совершенствования моделей обработки информации в задаче прогнозирования предельных сроков службы космических аппаратов, которые заключаются в переходе от мономодельной к полимодельной обработке исходной информации об изменении во времени параметров технического состояния и остаточного ресурса бортовой аппаратуры космических аппаратов. Кроме того, ввиду неопределенности воздействий факторов космического пространства на техническое состояние бортовой аппаратуры, значения допустимых границ изменения параметров технического состояния предлагается оценивать экспертно с применением теории нечетких множеств. Описанные модели в совокупности предлагается реализовать в рамках информационно-аналитической системы прогнозирования предельного срока службы

космических аппаратов, позволяющей автоматизировать основные процедур обработки информации.

### Список использованных источников и литературы

1. Ломакин М.И., Миронов А.Н., Шестопалова О.Л. Многомодельная обработка измерительной информации в интеллектуальных системах прогнозирования надежности космических средств // Измерительная техника. – 2014. – № 1, 13 с.

2. Лоскутов А.И., Патраков С.С., Шестопалова О.Л. Интеллектуальная информационно - диагностическая система оценивания технического состояния бортовой аппаратуры космических аппаратов при подготовке их к запуску// Информационно-управляющие системы, №2 ♦ (69), 2014. - С. 18 -24.

3. Миронов А.Н., Миронов Е.А., Шестопалова О.Л., Платонов С.А. Определение границ поля допуска параметров бортовой аппаратуры космических аппаратов на стадии создания при ограниченном объеме информации об условиях эксплуатации // Информация и космос. 2015.№3. С.167-171.

4. Миронов А.Н., Миронов Е.А., Шестопалова О.Л., Платонов С.А. Исследование вопросов моделирования границ области работоспособности элементов бортовой аппаратуры космических аппаратов на стадиях создания и эксплуатации // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-13. С. 2815-2818.

5. Миронов А.Н., Миронов Е.А., Шестопалова О.Л., Платонов С.А. Оценивание значений границ поля допуска параметров бортовой аппаратуры космических аппаратов для стадии эксплуатации в условиях информационной неопределённости // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-13. С. 2819-2823.

6. Севастьянов Д.А., Шестопалова О.Л. Пути и методы управления развитием системы информационного обеспечения эксплуатации космических средств // Информация и космос, № 3, 2013. - С. 73 – 76.

© Миронов Е.А.

© Ниязова Ю.М.

© Шестаков А.В.

© Шестопалова О.Л.