

Использование планового языка в качестве промежуточного языка машинного перевода, языка векторного компонентного представления значения слов, языка описания валентностей слов, языка семантической классификации, языка нетерминальных символов порождающих грамматик можно считать перспективной и актуальной задачей. Она связана с решением проблемы моделирования, анализа, синтеза и потенциальной генерации естественного языка. Вероятно, будущее межнационального общения связано с работой эффективных систем машинного перевода с поддержкой голоса, а не с внедрением конлангов в качестве основных языков. При этом, по сравнению с изучением и исследованием конлангов в их применении в искусстве и в качестве хобби, использование конструируемых языков как средства моделирования и анализа естественных языков, использование языка описания нетерминальных символов порождающих грамматик является научной и технической задачей, требующей дальнейшего исследования.

#### Библиографические ссылки

1. Личаргин Д. В. Методы и средства порождения семантических конструкций естественно языкового интерфейса программных систем: дис. ... канд. техн. наук : 05.13.17. Красноярск, 2004. 154 с.
2. Сафонов К. В., Личаргин Д. В. Разработка векторизованной семантической классификации над словами и понятиями естественного языка // Вестник СибГАУ. 2010. № 4 (30). С. 33–37.

3. Сафонов К. В. О возможности вычислительного распознавания контекстно-свободных грамматик // Вычислительные технологии. 2005. Т. 10, № 4. С. 91–98.

4. Тарту Д. Общая интерлингвистика и плановые языки. М. : Русский язык, 1989.

5. Исаев М. И. Проблемы международного вспомогательного языка. М. : Наука, 1991.

#### References

1. Lichargin D. V. *Metody i sredstva porozhdeniya semanticheskikh konstruksiy yestestvenno yazykovogo interfeysa programmnykh sistem*. Diss. kand. tekhn. nauk [Methods and Means of Semantic Constructions Generation for Software Natural Language Interface. Diss. PhD of Technical Sciences]. Krasnoyarsk, 2004. 154 p.
2. Safonov K. V., Lichargin D. V. *Vestnik SibGAU*, 2010, № 4 (30), p. 33–37.
3. Safonov K. V. *Vychislitelnye Tekhnologii*, 2005, vol. 10, № 4, p. 91–98.
4. Tartu D. *Obshchaya interlingvistika i planovyye yazyki* (General Interlinguistics and Planned Languages). Moscow, Russkii yazyk, 1989.
5. Isaev M. I. *Problemy mezhdunarodnogo vspomogatel'nogo yazyka* (Problems of the International Auxiliary Language). Moscow, Nauka, 1991.

© Личаргин Д. В., Сафонов К. В., Ладе А. В., Мищенко Д. Д., Гордеева А. Т., 2014

УДК 629.195.2, 65.011.56

### МЕТОДЫ УНИФИКАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЦЕНТРАХ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЁТАМИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

М. В. Некрасов<sup>1</sup>, Д. Н. Пакман<sup>1</sup>, А. Н. Антамошкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Информационные спутниковые системы имени академика М. Ф. Решетнёва»  
Российская Федерация, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52  
E-mail: diamond@iss-reshetnev.ru; packman@iss-reshetnev.ru

<sup>3</sup>Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева  
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31  
E-mail: oleslav@mail.ru

*Рассматривается циркуляция потоков телеметрической информации в структуре автоматизированной системы управления космическим аппаратом. Исторически сложившееся разнообразие программных средств обработки телеметрии, решающих схожие задачи, затрудняет дальнейшее их развитие, что приводит к неспособности удовлетворить возрастающие требования к скорости и качеству обработки информации современных космических аппаратов. Решением описанной проблемы может являться применение методов системного анализа для определения общих принципов идеологии построения унифицированных средств обработки телеметрической информации. Предлагаются пути развития методов обработки телеметрии и создания унифицированной системы обработки телеметрической информации для центра управления полётом космических аппаратов. Рассматриваются результаты практической реализации принципов унификации средств обработки телеметрии на примере системы ГЛОНАСС.*

*Ключевые слова:* космический аппарат, центр управления, телеметрия.

## UNIFICATION METHODS OF PRESENT TELEMETRY PROCESSING SYSTEMS IN SATELLITE CONTROL CENTERS

M. V. Nekrasov<sup>1</sup>, D. N. Packman<sup>1</sup>, A. N. Antamoshkin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> JSC "Information satellite system" named after academician M. F. Reshetnev"  
52, Lenin str., Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russian Federation  
E-mail: diamond@iss-reshetnev.ru; packman @iss-reshetnev.ru

<sup>2</sup> Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev  
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation  
E-mail: oleslav@sibsau.ru

*The article describes circulation of telemetry flows in an automated spacecraft control circuit. For historical reasons the variety of telemetry software solving similar tasks is hard to be evolved thus resulting in an inability to satisfy increasing speed and quality requirements of the present satellites. One solution of this problem may be applying methods of system analysis to determine general principles of ideology of unified telemetry system design. The article also offers the ways of evolution of telemetry processing methods and creating a unified telemetry processing system for the spacecraft mission control centers. A unified telemetry system design was applied in practice for the GLONASS system. The results of practical application are also described.*

*Keywords: spacecraft, mission control center, telemetry.*

**Назначение автоматизированной системы управления космическим аппаратом.** Современная автоматизированная система управления космическими аппаратами (АСУ КА), рассматриваемая в [1; 2], предназначена для обеспечения работы бортовых систем КА в течение всего времени его активного существования и представляет собой совокупность бортовых и наземных средств управления с необходимым математическим обеспечением.

В такой системе существует критическая необходимость в скорейшем обнаружении неисправностей, от простого перегорания предохранителя до выявления предотказных состояний бортовой аппаратуры, посредством анализа телеметрической информации (ТМИ). Человек зачастую не может эффективно справиться с большим объемом поступающей информации, поэтому перспективным по части повышения безопасности технических средств является создание многофункциональных автоматизированных вычислительных комплексов. Высокий уровень автоматизации и интеллектуализации системы позволит уменьшить время сбора необходимой информации и повысить эффективность действий операторов анализа для поддержания стабильного функционирования КА.

**Телеметрическая информация в контуре автоматизированной системы управления космическим аппаратом.** Решение задач управления КА осуществляется с помощью аппаратно-программных средств наземного комплекса управления (НКУ) КА. В структуре НКУ циркулирует информация различных видов, основными из которых являются: разовые и программные команды, командно-программная информация, информация функционального контроля, баллистическая информация и ТМИ. В сложной автоматизированной системе управления, какой является АСУ КА, особую роль играет реакция управляемого КА на управляющие воздействия, а именно,

формируемая ТМИ, поступающая с передающих устройств КА по радиолинии и содержащая сведения о состоянии и режимах функционирования его бортовой аппаратуры, выполнении лётных программ и реакции аппарата на управляющие воздействия [1–3].

Процесс сбора ТМИ о состоянии КА, её передачи и предоставления конечному пользователю (оператору управления, системному специалисту) представляет собой многоступенчатую процедуру, включающую в себя ряд этапов.

Этап *сбора и передачи телеметрической информации* [3] реализуется бортовой аппаратурой телесигнализации (БАТС), установленной на средствах бортового комплекса управления (БКУ). На этом этапе обеспечивается решение следующих задач: сбор и обработка информации от датчиков аппаратными средствами БАТС; аналогово-цифровое преобразование данных и их размещение в оперативной памяти БАТС; взаимодействие с бортовым цифровым вычислительным комплексом (БЦВК); формирование и выдача в бортовую командно-измерительную систему (КИС) телеметрического сообщения в виде псевдокадров.

Этап *предварительной обработки телеметрической информации* реализуется средствами наземной командно-измерительной системы в составе НКУ. На указанном этапе решаются следующие задачи: приём ТМИ средствами наземной КИС; идентификация телеметрического сигнала, его нормализация и усиление; аналогово-цифровое преобразование информации средствами наземной КИС; выделение синхросылки, анализ служебной части кадра, нарезка потока ТМИ на псевдокадры, привязка псевдокадров к московскому декретному времени; формирование блоков информации для передачи в каналы связи; передача сформированных блоков ТМИ в систему автоматизированной обработки данных пункта (САО-П).

Этап *первичной обработки телеметрической информации* реализуется САО-П и обеспечивает пере-

дачу ТМИ средствами системы сбора и передачи данных (ССПД) по соответствующему протоколу информационного взаимодействия в систему автоматизированной обработки данных центра (САО-Ц).

Этап *вторичной обработки информации, её анализа и представления* реализуется аппаратно-программными средствами центра управления полётом (ЦУП), входящего в состав НКУ, по результатам первичной обработки данных и позволяет путём расчётов определять необходимые характеристики работы бортовых систем. На этом этапе обеспечивается решение следующих задач: приём информационных потоков от САО-Ц; распределение потоков ТМИ по рабочим станциям ЦУП; расчёт первичных и вторичных параметров, а также параметров алгоритма обобщённого контроля состояния КА и систем; анализ результатов обработки ТМИ; представление данных операторам управления и системным специалистам.

Современные ЦУП КА организуются на базе аппаратно-программного комплекса и, как правило, состоят из нескольких функциональных секторов, представленных на рис. 1.

Основными задачами сектора обработки ТМИ являются:

- управление станциями приёма ТМИ;

- получение и обработка ТМИ в режиме непосредственного приёма;
- приём и обработка отчётов бортовым цифровым вычислительным комплексом;
- автоматизированный обобщённый контроль и диагностика состояния КА по ТМИ в течение всего срока его активного существования;
- представление результатов обработки ТМИ системным специалистам и операторам управления;
- обмен различными видами информации с элементами наземного комплекса управления, внешними системами и организациями.

Для решения общей целевой задачи управления КА и поддержания его активного существования между секторами ЦУП осуществляется информационно-логическое взаимодействие. Частью такого взаимодействия является обмен ТМИ по соответствующей схеме (рис. 1). Информационное взаимодействие между секторами осуществляется на программном уровне с использованием локально-вычислительной сети ЦУП.

Основными потребителями ТМИ в ЦУП КА являются операторы управления (анализаторы) и системные специалисты. В их задачи, в частности, входит анализ состояния всех КА орбитальной группировки (ОГ) и определение рекомендаций по управлению КА.

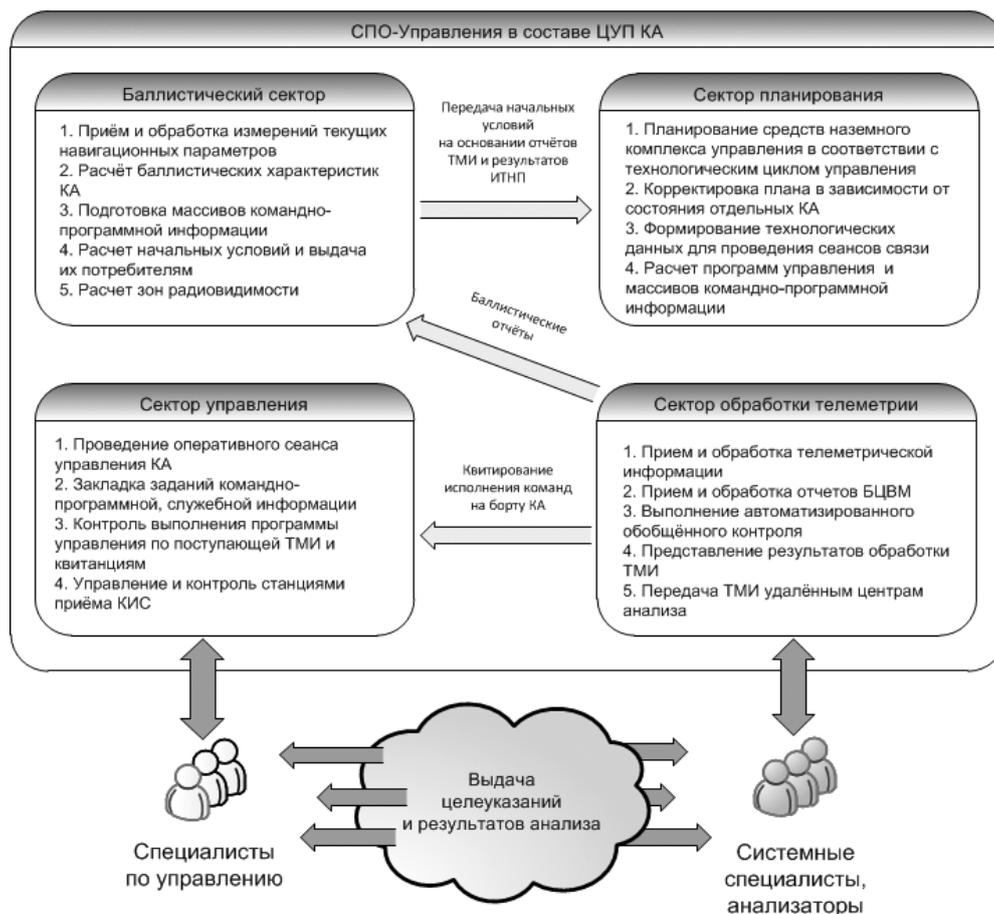


Рис. 1. Циркуляция телеметрии внутри СПО ЦУП КА:  
СПО – специальное программное обеспечение; ИТНП – измерение текущих навигационных параметров

**Направления создания унифицированной системы обработки телеметрической информации в ЦУП КА.** До настоящего времени подход к разработке специального программного обеспечения обработки ТМИ (СПО ОТИ) и его функциональному структурированию определялся требованиями, предъявляемыми специалистами по управлению конкретным КА и заложенными аппаратными характеристиками ЦУП, что привело к наличию большого числа различных версий программного обеспечения для каждого из аппаратов или их ОГ. Сложившаяся ситуация препятствовала эффективному техническому сопровождению программного обеспечения, включая его наращивание и модернизацию. Увеличение числа и типов КА, разрабатываемых в ОАО «Информационные спутниковые системы» имени М. Ф. Решетнёва», ещё больше обострило данную проблему.

Таким образом, актуальной стала задача унификации СПО ОТИ, т. е. создания единой системы обработки ТМИ. Решение обозначенной проблемы позволит обеспечить гибкость функциональной архитектуры программного обеспечения, а также его независимость от обслуживаемого КА.

В результате проведения тщательного системного анализа существующих комплексов обработки ТМИ, а также используя результаты работы [4], была разработана идеология построения СПО ОТИ, на базе которой был спроектирован унифицированный программный комплекс. Данная идеология, прежде всего, сформирована на основе опыта создания подобных программных продуктов и требований к телеметрическому обеспечению ЦУП и общих принципов построения АСУ [5], из которых можно выделить следующие:

1) системность:

- наличие функциональных и информационных связей в системе;
- разделение функциональных задач системы между отдельными модулями на основе методов системного анализа;

2) гибкость программного обеспечения и совместимость его функциональных характеристик:

- модульность программного обеспечения, возможность его расширения и изменения в соответствии с решаемыми задачами;
- определение ключевых задач протоколов информационного взаимодействия с сопрягаемыми элементами системы;

3) автоматизация работы модулей системы:

- определение минимально необходимой входной информации;
- минимизация степени участия человека в управлении системой;
- обеспечение заданной степени обобщения выходной информации для передачи в смежные модули управления;

4) способность к взаимодействию:

- обеспечение совместной работы компонентов программных средств и баз данных с другими прикладными системами и компонентами на различных вычислительных платформах;

- взаимодействие с пользователями в стиле, удобном для перехода от одной вычислительной системы к другой с подобными функциями;

5) защищенность программных средств:

- использование методов и средств защиты программного обеспечения от потенциальных угроз с целью обеспечения безопасности функционирования информационной системы;

6) обеспечение надежности:

- устойчивость к аппаратным и программным дефектам;

- способность к восстанавливаемости;

7) сопровождаемость:

- полнота и достоверность документации о состояниях программного средства и его компонентов;
- документирование всех предполагаемых и выполненных изменений, позволяющее установить текущее состояние версий программ в любой момент времени и историю их развития;

8) мобильность:

- адаптируемость и простота установки на новые аппаратно-программные средства, новые операционные системы;

- совместимость и замещаемость программного обеспечения;

9) заданный уровень функциональности системы:

- получение, обработка и хранение телеметрической информации различных типов;
- автоматизированный контроль и диагностика состояния КА по ТМИ;
- эффективное представление результатов обработки ТМИ.

**Состав подсистем обработки телеметрической информации.** Используя описанные принципы и исходя из функциональных требований к системе обработки телеметрии, можно выделить следующие взаимодействующие между собой подсистемы:

1. Обслуживающая подсистема (комплекс программ сервера обработки телеметрии – КП СОТМ), предназначенная для одновременного проведения сеансов приёма ТМИ от различных КА при использовании различных наземных измерительных пунктов. Дополнительные задачи, решаемые подсистемой: предварительная обработка и оценка достоверности телеметрических кадров, санкционированный доступ к телеметрии для подсистем мониторинга, рассылка ТМИ подсистемам мониторинга по согласованному протоколу, сохранение архивов телеметрии в центральной базе данных ЦУП.

2. Подсистема сеансного (онлайн) мониторинга, взаимодействующая с обслуживающей подсистемой в части запроса на получение ТМИ о состоянии КА. Дополнительные задачи, решаемые подсистемой: первичная и вторичная обработка данных, формирование параметров обобщённого контроля, построение отвечающих им зависимостей, обработка отчётов бортового вычислительного комплекса, построение графиков поведения ТМ-параметров, оценка состояния КА в виде мнемонических схем. Следуя прин-

ципу разделения функциональных задач системы, из общего множества задач подсистемы сеансного мониторинга можно выделить следующие модули: модуль рабочего места обработки телеметрии (РМТМ) для отображения и анализа примитивных объектов (параметры, формуляры, графики) и мнемонического представления телеметрической модели (МПТМ) для анализа комплексных объектов – мнемонических диаграмм.

3. Подсистема внесансного (офлайн) мониторинга, взаимодействующая с базой данных ЦУП с целью извлечения и детального анализа архивов ТМИ после сеанса. Набор функциональных возможностей подсистемы должен совпадать с возможностями подсистемы онлайн-мониторинга и расширять их методами статистического анализа и прогнозирования временных рядов значений телеметрических параметров.

4. Вспомогательные подсистемы, к которым относятся:

– подсистема подготовки исходных данных (комплекс программ подготовки исходных данных – КП ПИД). Исходя из логики обработки ТМИ и в соответствии со структурами, формируемыми посредством БЦВК, данная подсистема обеспечивает формирование унифицированных структур для обработки ТМИ, поступающей в ЦУП КА. Помимо логики обработки параметров, генерируемых на борту, названная подсистема позволяет формировать группу параметров обобщенного контроля состояния КА, которые, в свою очередь, могут быть выстроены в многоуровневую иерархию параметров, начиная от первичных параметров (формируемых на основе бортовых датчиков) и заканчивая параметрами, описывающими систему КА и аппарат в целом. Совокупность сформированных унифицированных структур выступает в качестве исходных данных на обработку телеметрии для обслуживаемой подсистемы и подсистем мониторинга;

– подсистема защищенного внешнего взаимодействия (комплекс программ обмена файлами ТМИ – ОФТМ), предназначенная для передачи данных по защищенным каналам и обеспечивающая сеансовую передачу ТМИ на средства потребителя через глобальные каналы связи.

**Унифицированные структуры описания исходных данных.** Для использования во всех подсистемах СПО ОТИ единых методов обработки ТМИ сформированы унифицированные структуры описания исходных данных на обработку телеметрии. Общее множество полученных структур классифицируется на следующие типы:

1) описание телеметрического параметра:

– первичные и вторичные параметры, содержащие такие характеристики, как наименование параметра, типы значений входной и выходной величины, размерность параметра, алгоритмы сглаживания, описание списка границ и др.;

– параметры автоматизированного обобщенного контроля, содержащие описание режимов функционирования подсистем, устройств, блоков;

2) описание формуляра, содержащее наименование формуляра, наименование подсистемы КА и список параметров;

3) описание подсистемы КА, содержащее список формуляров; обеспечивает системное иерархическое представление состояния КА;

4) описание отчёта бортового компьютера, содержащее следующие характеристики: идентификатор отчёта, номера алгоритма обработки, перечень участков двоичного массива с указанием наименований и адресов расположения телеметрических параметров внутри участка.

Разработанная концепция унификации базовых структур упрощает тестирование подсистем СПО ОТИ и повышает надёжность системы ОТИ в целом.

**Практическая реализация принципов унификации на примере системы ГЛОНАСС.** Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС) предназначена для оперативного навигационно-временного обеспечения неограниченного числа пользователей наземного, морского, воздушного и космического базирования. Обеспечение целевой задачи – создание глобального навигационного поля – достигается наличием в ОГ 24 КА. Общее количество сеансов связи в сутки достигает 100, при этом одновременные сеансы связи проводятся с 3–5 КА. Количество телеметрических параметров для КА типа «Глонасс-М» составляет около 12 000, а для КА типа «Глонасс-К» – около 14 000 телеметрических параметров [6].

Во исполнение опытно-конструкторской работы по модернизации технических и программных средств на 2002–2011 годы производилось переоснащение наземного сегмента системы ГЛОНАСС. Для удовлетворения тактико-технических требований в части обработки полных потоков ТМИ ОГ ГЛОНАСС была спроектирована новая система обработки ТМИ в ЦУП КА, учитывающая описываемые в настоящей статье принципы унификации методов.

Схема разработанной системы обработки ТМИ (специального программного обеспечения обработки ТМИ) представлена на рис. 2.

На схеме видно, что в секторе анализа ТМИ центральным элементом является СОТМ, который принимает потоки ТМ-информации от САО, организует долговременный архив в базу данных ЦУП и рассылает принимаемую информацию потребителям.

КП РМТМ принимает информацию от СОТМ и выполняет задачи сеансного анализа телеметрии, основными из которых являются: первичная и вторичная обработка ТМИ, обработка отчётов БЦВК, построение графиков поведения параметров, сохранение и печать результатов обработки.

КП МПТМ также принимает информацию от СОТМ и обеспечивает построение модели функционирования спутника в виде мнемосхем.

Накопленная в базе данных ЦУП ТМИ оценивается КП ПВРТМ, основными задачами которого являются: чтение архивов телеметрии и отображение в заданном виде, построение графиков параметров на

любом интервале времени, обработка отчётов БЦВК, сохранение и печать результатов обработки.

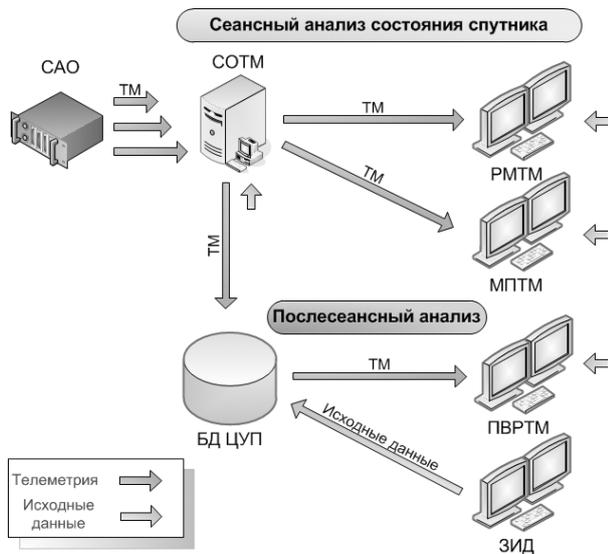


Рис. 2. Схема взаимодействия СПО ОТИ

Все рассмотренные комплексы анализа во время своего функционирования используют исходные данные на обработку ТМИ, расположенные в базе данных ЦУП и формируемые КП ПИД.

Предлагаемые принципы проектирования систем приёма и обработки ТМИ позволили определить состав подсистем обработки телеметрии, а также ключевые задачи каждой подсистемы. Дополнительно определено, что функционирование и взаимодействие подсистем должно производиться с использованием унифицированных структур описания исходных данных.

Описанные методы унификации средств обработки ТМИ позволят удовлетворить требования различных эксплуатирующих организаций в плане обработки ТМИ и обеспечат эффективную техническую поддержку АСУ КА.

#### Библиографические ссылки

1. Спутниковые системы связи и вещания 2007 : науч.-техн., справоч.-аналит. изд. Вып. 2. с прил. на СД. М. : Радиотехника, 2008. 441 с.
2. Соловьев Ю. А. Системы спутниковой навигации. М. : Эко-Трендз, 2000. 270 с.
3. Эскизный проект. Построение основного и резервного центров управления полетом орбитальной группировкой космических аппаратов гражданских спутниковых систем связи и вещания государствен-

ного назначения. Кн. 1. Организационно-техническое построение ЦУП и РЦУП. Железногорск, 2002. 109 с.

4. Некрасов М. В., Пакман Д. Н., Вершинин А. Б. Разработка концепций создания многопоточной системы обработки телеметрической информации в центрах управления полетом военного назначения // Материалы науч.-техн. конф. молодых специалистов. Железногорск, 2008. С. 19-24.

5. Переверткин С. М., Кантов А. В., Бородин Н. Ф., Щербаклова Т. С. Бортовая телеметрическая аппаратура космических летательных аппаратов. М. : Машиностроение, 1977. 208 с.

6. ГЛОНАСС: принципы построения и функционирования / под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. 3-е изд., перераб. М. : Радиотехника, 2005. 688 с.

#### References

1. *Sputnikovie sistemi svyazi i veshania 2007* (Satellite communication and broadcasting systems). Moscow, Radiotekhnika, 2008, 441 p.
2. Solov'jov Yu. A. *Sistemy sputnikovoy navigacii* (Satellite navigation systems). 2000, 270 p.
3. *Eskiznyy project. Postroenie osnovnogo i rezervnogo centrov upravleniya poletom orbitalnoy gruppировки kosmicheskikh apparatov grazhdanskikh sputnikovih system svyazi i veshaniya gosudarstvennogo naznacheniya. Kniga 1. Oraganizacionno-technicheskoe postroenie CUP i RCUP. Zheleznogorsk* [Conceptual design of master and slave satellite control centers for orbital group of satellites of civil communication and broadcasting systems for the interest of the state. Vol 1. Main SCC and slave SCC organizational and technical design]. 2002, 109 p.
4. Nekrasov M. V., Packman D. N., Vershinin A. B. Conceptual design of multithreaded telemetry processing system for satellite control centers of military purpose [Razrabotka koncepciy sozdaniya mnogopotchnoy systemi obrabotki telemetricheskoy informacii v centrah upravleniya poletom voennogo naznacheniya]. *Materialy nauchno-technicheskoy konferencii molodih specialistov* (Scientific-technical conference of young specialists). Zheleznogorsk, 2008, pp. 19-24
5. Perevertkin S. M., Kantov A. V., Borodin N. F., Sherbakova T.S. *Bortovaya telemetricheskaya apparatura kosmicheskikh letatelnih apparatov* (On-board telemetry system of aircrafts). Moscow, Machinostroenie, 1977, 208 p.
6. *GLONASS: principy postroenia i funkcionirovania* (GLONASS: design and functioning principles). Moscow, Radiotekhnika, 2005, 688 p.

© Некрасов М. В., Пакман Д. Н., Антамошкин А. Н., 2014