

А. А. Колташев

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ И ПОДТВЕРЖДЕНИЯ БОРТОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СПУТНИКОВ

*Представлен подход, гарантирующий качество системного тестирования и подтверждения разрабатываемого бортового программного обеспечения спутников связи, навигации и геодезии. Подход базируется на архитектурной декомпозиции бортового программного обеспечения, программном моделировании подсистем спутника и высоком уровне пользовательского интерфейса инструментальных средств.*

*Ключевые слова: бортовое программное обеспечение, системное тестирование, спутник, интерфейс, программное моделирование.*

Одной из важнейших задач при разработке бортового программного обеспечения (БПО) спутников является гарантирование требуемого уровня его качества, которое обеспечивается при реализации этапов системного тестирования и подтверждения БПО. В ОАО «Информационные спутниковые системы» имени М. Ф. Решетнева» (ИСС) при разработке БПО спутников связи, навигации и геодезии эффективность этих этапов достигается путем использования в технологии разработки БПО [1–3] ряда принципов, рассматриваемых ниже.

**Архитектурная декомпозиция БПО.** Первым условием эффективного тестирования и подтверждения БПО является его архитектурная декомпозиция (рис. 1).

Эта декомпозиция предполагает, что, во-первых, БПО функционально и структурно распадается на программное обеспечение (ПО) подсистем, во-вторых, ПО всех подсистем строится на базе средств, предоставляемых ПО

бортового комплекса управления спутника (ПО БКУ), и, в-третьих, интегральные вопросы функционирования БПО решаются в ПО БКУ.

Такая декомпозиция обеспечивает эффективное распределение ответственности за функциональные возможности БПО и определяет состав типового графика системного тестирования и разработки БПО, обеспечивающего необходимую степень отработки БПО с минимальными затратами.

**Программное моделирование.** Второе условие эффективного тестирования и подтверждения БПО – это использование программных моделей аппаратуры БКУ спутника и моделей поведения подсистем спутника. Эти модели входят в состав наземного отладочного комплекса (НОК) БПО, который является основным средством системного тестирования БПО (рис. 2).

Модели поведения подсистем спутника рассматриваются как составные части процедур тестирования ПО

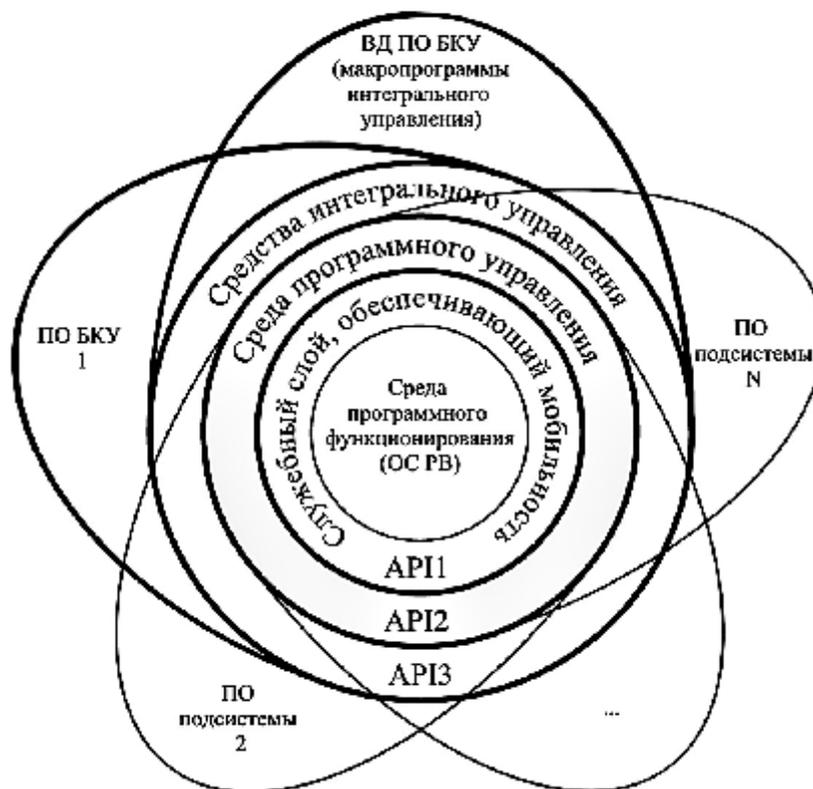


Рис. 1. Архитектура БПО спутника связи:  $N$  – число подсистем спутника

соответствующих подсистем, и за их создание отвечают отделы ОАО «ИСС», разрабатывающие ПО соответствующих подсистем.

**Унифицированный пользовательский интерфейс высокого уровня.** НОК БПО не только позволяет тестировать БПО на всем множестве функциональных возможностей БПО, но и благодаря входящей в его состав автоматизированной системе испытаний и телеметрической обработки предоставляет унифицированный пользовательский интерфейс для системного тестирования, базирующийся на графическом формализованном языке описания процедур и вариантов тестирования – языке циклограмм [4].

Высокий уровень данного интерфейса позволяет проектировать и проводить системное тестирование непосредственно проектантами логики функционирования как отдельных подсистем спутника, так и спутника в целом. Благодаря своей унифицированности этот интерфейс может быть использован на всех рабочих местах испытаний инженерных изделий и спутников ОАО «ИСС», а его постоянство способствует передаче и накоплению опыта и существенно упрощает сопровождение БПО.

**Формальный графический язык тестирования.** Формальный графический язык описания циклограмм тестирования и средства подготовки циклограмм, предоставляемые автоматизированной системой испытаний, дают возможность наглядного описания процедур тестирования, позволяют автоматизировать повторное тести-

рование и создают предпосылки для решения задачи автоматизированной генерации тестов.

**Подтверждение в составе подсистем.** Важнейшим принципом эффективного тестирования и подтверждения БПО является принцип разработки БПО спутника как встроенного в техническую систему программного обеспечения, структурно состоящего из совокупности ПО функциональных подсистем спутника.

Такой подход не только делает прозрачной ответственность за функциональные возможности БПО, но и существенно упрощает процедуру подтверждения БПО перед заказчиком, так как подтверждение функциональных требований к БПО распадается на подтверждение функциональных требований к ПО подсистем, которые определяются на уровне этих подсистем и подтверждаются при их отработке, что приводит к существенному сокращению затрат на подтверждение БПО.

**Эффективный типовой график работ.** Реализация перечисленных выше принципов позволяет создать эффективный типовой график системного тестирования и подтверждения БПО (рис. 3) [5]. Использование в названиях этапов термина «комплексная отладка» (КО), вместо современного термина «системное тестирование», исторически обусловлено [6].

График предусматривает системное тестирование ПО БКУ и ПО подсистем на уровне функций подсистем и системное тестирование интегральных функций БПО на



Рис. 2. Архитектура НОК БПО: БЦВК – бортовой цифровой вычислительный комплекс; ИКБК – интерпретатор команд бортового компьютера; БД КУ – база данных команд управления; ТМИ – телеметрическая информация; ЦГ – циклограммы испытаний; АСУ ИТО – АСУ испытаний и телеметрической обработки; GUI1 – штатный интерфейс; GUI2 – отладочный интерфейс; GUI3 – технологический интерфейс

уровне спутника в целом, т. е. на этапах 1,08 БКУ, 01.ИМ, ЭРТИ.

Подтверждение БПО осуществляется в рамках приведенных на графике работ по отработке технологических изделий и спутника в целом. При этом между этапами системного тестирования и этапами подтверждения подсистем существуют некоторые объективные зависимости.

Например, работы по этапу «КО БПО в обеспечение КО подсистем» должны быть завершены к началу отработки изделия 1,08 БКУ, а работы по этапам «КО БПО в обеспечение КО БПО» и «КО ПО подсистем в режимах систем» не могут быть завершены до завершения работ по отработке изделия 1,08.БКУ. Аналогично работы по этапам «КО ПО подсистем в режимах КА» и «КО БПО» не могут быть завершены до завершения работ по отработке изделия 01.ИМ. Окончательная версия БПО для летных испытаний спутника возникает только после завершения ЭРТИ спутника в целом.

**Дополнительные достоинства подхода.** Одним из достоинств использования программных моделей и НОК БПО для системного тестирования является возможность глубокой отладки компонентов БПО в терминах используемого языка программирования (Модуля-2). Другое достоинство заключается в возможности создания на основе программных моделей НОК программной модели спутника для его имитаторов. В этом случае программные модели лишь дополняются небольшим количеством функций, не нужных для системного тестирования БПО, но предусмотренных эксплуатационной документацией на спутник. Кроме того, НОК без каких-либо доработок может использоваться для предварительной отработки циклограмм испытаний подсистем на технологических изделиях, а также спутника в целом. Эта возможность обеспечивается за счет применения на рабочих местах испытаний и НОК БПО единых унифицированных средств автоматизации испытаний.

Таким образом, использование в технологии разработки БПО спутников рассмотренных выше принципов позволяет не только создавать программное обеспече-

ние в нужном количестве, в требуемые сроки и с необходимым уровнем качества, но и существенно сокращает затраты на его разработку. Этот факт был подтвержден в рамках многих программ и проектов, выполненных и выполняемых ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева», в том числе при разработке БПО спутников связи серии «Экспресс-АМ», спутников навигации системы ГЛОНАСС и геодезического спутника «Гео-ИК».

### Библиографические ссылки

1. Колташев А. А. Технология разработки и сопровождения мобильного программного обеспечения спутников связи // Изв. вузов. Серия «Приборостроение». 2004. № 4.
2. Антамошкин А. А., Колташев, А. А. Технологические аспекты создания бортового программного обеспечения спутников связи // Вестник СибГАУ. 2005. Вып. 6.
3. Колташев А. А. Эффективная технология управления циклом жизни бортового программного обеспечения спутников связи и навигации // Авиакосмич. приборостроение. 2006. № 12.
4. Программное обеспечение автоматизации испытаний спутников связи и навигации / М. Ю. Баев, А. В. Барков, В. А. Дубенко и др. // Навигационные спутниковые системы, их роль и значение в жизни современного человека : материалы Всерос. науч.-техн. конф. (10–14 окт. 2007, г. Железногорск). Красноярск, 2007.
5. Разработка и подтверждение бортового программного обеспечения спутников связи и навигации / П. М. Ерохов, А. А. Колташев, С. Г. Кочура и др. // Навигационные спутниковые системы, их роль и значение в жизни современного человека : материалы Всерос. науч.-техн. конф. (10–14 окт. 2007, г. Железногорск). Красноярск, 2007.
6. Колташев А. А., Кочура С. Г., Хартов В. В. Современная технология разработки и сопровождения бортового программного обеспечения спутников связи и навигации // Космические вехи : сб. науч. тр., посвящ. 50-летию создания ОАО «ИСС» имени академика М. Ф. Решетнева». Красноярск, 2009.

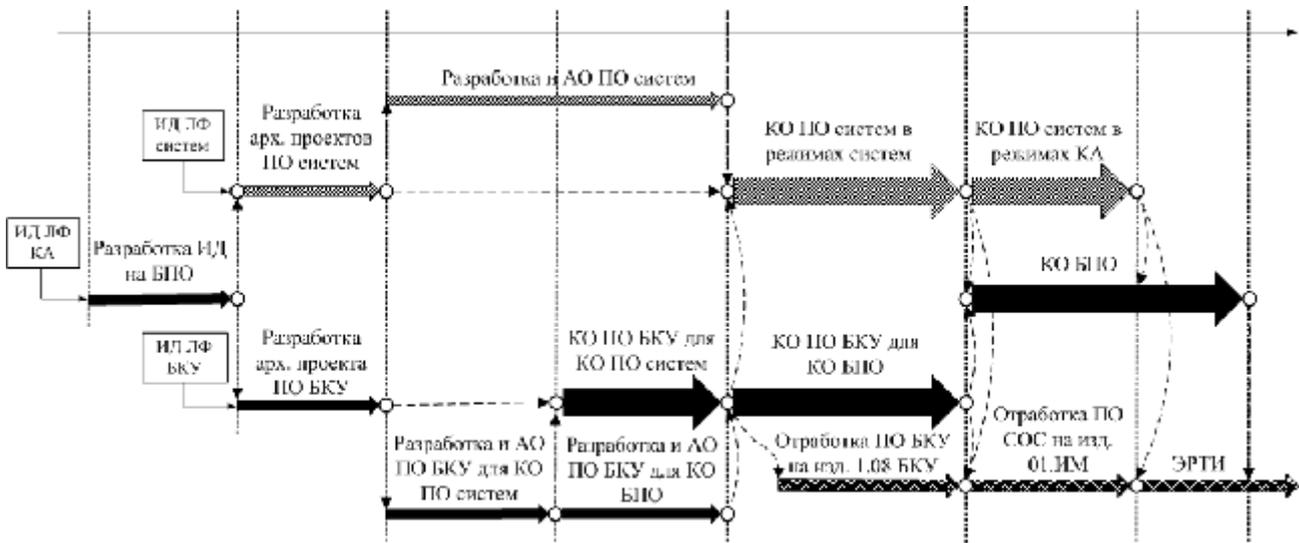


Рис. 3. Типовой график системного тестирования и подтверждения БПО (утолщенными линиями представлены работы по системному тестированию)

A. A. Koltashev

## MAIN PRINCIPLES OF COMMUNICATION AND NAVIGATION SATELLITES ONBOARD SOFTWARE SYSTEM TESTING AND VALIDATION

*This paper describes an approach providing the quality of system testing and validation stages of the developed onboard software for communication and navigation satellites. The approach is based on the onboard software stratification, software modeling of satellite subsystems and high level of the users interface of the software testing tools.*

*Keywords: onboard software, system testing, satellite, interface, software modeling.*

© Колташев А. А., 2010

УДК 629.78.051:681.3

В. В. Прудков

## ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА АВТОНОМНОЙ ОТРАБОТКИ ПОДСИСТЕМ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*Рассмотрена концепция, состав, принцип построения и взаимодействия составных частей, а также возможности программного обеспечения отработки подсистем блока управления космического аппарата. Описан разработанный протокол обмена программы рабочего места и специального программного обеспечения центрально-процессорного модуля.*

*Ключевые слова: блок управления, центрально-процессорный модуль, интерфейсный модуль сопряжения, автономная отработка.*

В настоящее время блоки управления (БУ) бортового комплекса управления (БКУ) современных и перспективных космических аппаратов, выпускаемых ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева», проектируются по модульному принципу и состоят из центрально-процессорного модуля (ЦПМ), который позволяет реализовать все логические функции конкретной аппаратуры не аппаратными, а программными средствами, и интерфейсных модулей сопряжения (ИМС), осуществляющих управления системами КА и подключаемых к ЦПМ по последовательному периферийному интерфейсу (ППИ). Управление БУ осуществляется бортовым интегрированным вычислительным комплексом (БИВК) по мультиплексному каналу обмена (МКО) (ГОСТ Р 52070–2003). ЦПМ принимает команды управления по МКО от БИВК, декодирует их и выдает слова данных (СД), содержащие команды управления (КУ), в соответствующие подсистемы БУ (ИМС). БИВК также считывает СД, содержащие телеметрическую информацию, от ЦПМ.

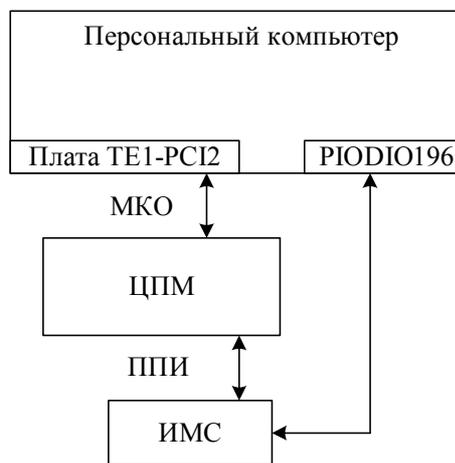
Проведение автономных испытаний ИМС является очень важным этапом при отработке блоков управления перспективных космических аппаратов, так как оно позволяет на ранних этапах провести проверку заложенных схемных и технических решений в соответствии с техническим заданием (ТЗ).

Цель проведения автономной отработки ИМС заключается в проверке правильности реализации требований ТЗ, выявлении ошибок при проектировании и изготовлении ИМС, а также в проектах программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) ИМС.

В ходе проведения автономной отработки ИМС решались следующие задачи:

- полная проверка функционирования как отдельных блоков ИМС, так и всех ИМС, состоящих из нескольких блоков;
- проверка устойчивости функционирования ИМС при аномальных ситуациях;
- выявление ошибок в функционировании ИМС.

Рабочее место автономной отработки ИМС (см. рисунок) состоит из персонального компьютера (ПК), ЦПМ и подключаемых ИМС. Для информационного обмена ПК с ЦПМ применяется плата TE1-PCI2, поддерживающая протокол МКО. Для связи ПК и ИМС используется плата PIODIO196.



Рабочее место автономной отработки ИМС