

СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ РАСПРЕДЕЛЁННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ И МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ: РОССИЙСКИЙ И БЕЛОРУССКИЙ СЕГМЕНТЫ

© 2017

- В. А. Зеленцов** доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник; Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН; v.a.zelentsov@gmail.com
- С. А. Потрясаев** кандидат технических наук, старший научный сотрудник; Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН; spotryasaev@gmail.com
- Б. В. Соколов** доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе; Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН; sokol@iias.spb.su
- В. Ю. Скобцов** кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник; Объединённый институт проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск; vasko_vasko@mail.ru
- С. А. Кореняко** исполнительный директор программы «Мониторинг-СГ», заведующий отделом совместных программ космических и информационных технологий; Объединённый институт проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск; korenjako@newman.bas-net.by
- Д. С. Ким** инженер; Объединённый институт проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск; d.kim2009@tut.by
- Е. Н. Вакульчик** аспирант; Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск; evakulchik@yandex.by
- Л. И. Кульбак** кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; Объединённый институт проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск; lkulbak@yandex.ru
- Е. Д. Николаеня** младший научный сотрудник; Объединённый институт проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск; nikolaenya.e.d@gmail.com
- Н. В. Лапицкая** заведующий кафедрой программного обеспечения информационных технологий; Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск; lapan@mail.ru
- Р. В. Саксонов** ведущий инженер; Унитарное предприятие «Геоинформационные системы», г. Минск, Беларусь; roman_saksonov@tut.by

Представлены решения задач оценивания, анализа и прогнозирования показателей надёжности, живучести и эффективности функционирования бортовой аппаратуры (БА) малого космического аппарата (МКА) в штатных и заданных условиях функционирования. Разработан распределённый программно-моделирующий комплекс многокритериального оценивания, анализа и прогнозирования значений показателей надёжности и живучести БА МКА с учётом факторов космического пространства, а также управления их реконфигурацией на различных этапах жизненного цикла, в состав которого интегрирован как распределённый сегмент комплекс методик и программных средств оценки надёжности БА МКА. Разработанные

программные комплексы основаны на применении прикладной теории управления структурной динамикой сложными объектами (СЛО), а также разработанных методик оценивания, анализа и прогнозирования показателей надёжности, живучести и эффективности функционирования БА МКА и интеллектуального анализа данных функционирования БА МКА.

Малые космические аппараты; бортовая аппаратура; управление структурной динамикой; оценивание, анализ и прогнозирование показателей надёжности, живучести и эффективности; распределённый программный комплекс; интеллектуальный анализ данных; визуализация; веб-система; сервис-ориентированная веб-архитектура; веб-интерфейс.

Цитирование: Зеленцов В.А., Потрясаев С.А., Соколов Б.В., Скобцов В.Ю., Коренько С.А., Ким Д.С., Вакульчик Е.Н., Кульбак Л.И., Николаева Е.Д., Лапицкая Н.В., Саксонов Р.В. Сервис-ориентированный распределённый программный комплекс для оценивания и многокритериального анализа показателей надёжности и живучести бортовой аппаратуры малых космических аппаратов: российский и белорусский сегменты // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2017. Т. 16, № 4. С. 118-129.
DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-4-118-129

Введение

В современных условиях для обеспечения требуемой степени автономности, качества и оперативности управления такими сложными объектами как малые космические аппараты и их бортовая аппаратура необходимо обеспечить модельно-алгоритмическое описание процессов смысловой интерпретации состояний их функционирования и на этой основе решить задачи комплексной автоматизации и интеллектуализации процессов оценивания и многокритериального анализа БА МКА в различных условиях обстановки [1–4]. Однако в большинстве случаев на практике решение данных задач автоматизировано лишь частично. Как правило, в современных системах мониторинга и управления (СМУ) БА МКА интегральную оценку и прогнозирование состояния БА МКА, формирование необходимых управляющих воздействий выполняют операторы, в основном вручную, базируясь на тех или иных эвристических правилах [3–7].

Для формирования методологических основ решения перечисленных проблем в Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН) развивается прикладная теория управления структурной динамикой СЛО [3;4;6–8]. Базируясь на сформулированных концепциях проактивного мониторинга и управления структурной динамикой СЛО, инвариантности состояний СЛО и состояний распределённого асинхронного вычислительного процесса, удалось осуществить переход от эвристических методов алгоритмизации этих процессов к последовательности целенаправленных обоснованных и взаимосвязанных этапов построения алгоритмов оценивания, анализа и прогнозирования показателей надёжности, живучести и эффективности функционирования БА МКА в штатных и нештатных условиях функционирования.

В данной работе излагается решение задач на основе применения прикладной теории управления структурной динамикой СЛО, а также разработанных методик оценивания, анализа и прогнозирования показателей надёжности, живучести и эффективности функционирования БА МКА и интеллектуального анализа данных функционирования БА МКА. В рамках партнёрских проектов, выполняемых по программе Союзного государства «Мониторинг СГ» в СПИИРАН и Объединённом институте проблем информатики (ОИПИ), разработан российский экспериментальный образец распределённого программно-моделирующего комплекса (ПМК) многокритериального оценивания, анализа и прогнозирования значений показателей надёжности и живучести БА МКА с учётом факторов космического пространства, а также управления их реконфигурацией на различных этапах жизненного цикла, в состав которого интегрирован как распределённый белорусский сегмент экспериментальный образец комплексов методик и программных средств оценки надёжности БА МКА (КПС ОН БА МКА).

Состав и функции распределённого программного комплекса

Разработанные комплексы программно-методического обеспечения обеспечивают, во-первых, оперативное и обоснованное многокритериальное оценивание, анализ и упреждающее моделирование значений показателей надёжности и живучести БА МКА в штатных и заданных условиях на основе учёта структурно-топологических и структурно-функциональных свойств БА МКА, использования предложенных методов интеллектуального анализа данных функционирования (телеметрии) БА МКА, методик и технологий автоматизированного оценивания и прогнозирования параметров технического состояния БА МКА, учёта радиационных, тепловых и механических воздействий космического пространства; во-вторых, выработку предложений по повышению надёжности и живучести БА МКА на различных этапах её жизненного цикла; в-третьих, обоснование и разработку перспективных технологий автоматизированного проактивного управления функциональной и структурной реконфигурацией бортовых систем МКА на этапе наземных испытаний и орбитального полёта. В рамках разработанного в СПИИРАН российского головного сегмента распределённого комплекса выделяются восемь взаимосвязанных методик и экспериментальных образцов программных модулей (ПМ), назначение и возможности которых представлены ниже.

Методика и программный модуль расчёта и многокритериального анализа показателей структурной надёжности БА МКА, структурно-топологических и структурно-функциональных показателей функциональных элементов (ФЭ) БА МКА, многокритериального оценивания и анализа критичности отказов ФЭ БА МКА (ПМ «Надёжность и критичность отказов») на основе информации о целях, структуре и логике функционирования, технологии управления и взаимном влиянии критичности отказов позволяет оценить и рассчитать:

- прогнозируемые значения показателей надёжности и живучести функциональной структуры БА МКА в штатном режиме и заданных условиях;
- значимость и вклады в показатель структурной надёжности и живучести функциональной структуры БА МКА в штатных и заданных условиях работы;
- значения интенсивности применения и взаимного влияния ФЭ БА МКА на выполнение целевых задач по предназначению;
- ранжированное множество ФЭ БА МКА по степени критичности отказов.

Методика и программный модуль расчёта поглощённых доз электронов естественного радиационного пояса Земли (ЕРПЗ), протонов ЕРПЗ, электронов искусственного радиационного пояса Земли (ИРПЗ) и протонов солнечных космических лучей (СКЛ) в произвольно выбранной точке МКА (ПМ «Радиация»), используя трёхмерное представление приборов БА МКА, распределение поглощённых доз на поверхности прибора по направлению и (или) распределение массовой толщины защиты по направлению при экранировании прибора БА МКА, даёт возможность оценить и рассчитать:

- поглощённую дозу и коэффициент ослабления для электронов ЕРПЗ, ИРПЗ, ЕРПЗ и СКЛ по каждому направлению и в точке расчёта;
- суммарную поглощённую дозу от всех видов излучений по каждому направлению и в точке расчёта;
- визуализацию углового распределения поглощённых доз в точке расчёта на трёхмерном чертеже прибора.

Методика и программный модуль оценивания надёжности и технического состояния БА МКА (ПМ «Техническое состояние») на основе обработанных телеметрических данных, подготовленных технологических исходных данных и знаний для проведения обработки позволяет оценить, рассчитать и визуализировать:

– текущие и прогнозируемые значения показателей надёжности и параметров технического состояния БА МКА;

– табличные, графические, текстовые, мнемонические данные о значениях показателей надёжности и параметрах технического состояния элементов и подсистем БА МКА.

Методика и программный модуль расчёта необходимого уровня структурной избыточности и оптимального разнотипного резервирования элементов и подсистем БА МКА, управления структурной реконфигурацией БА МКА в штатных и заданных условиях работы (ПМ «Резервирование») на основе данных о топологической, технической и функциональной структуре БА МКА, множестве разнотипных функционально взаимозаменяемых элементов, способах резервирования, показателей надёжности и других показателей элементов и подсистем, возможных сценариях деградации получает и оценивает:

– структурные схемы соединения элементов с указанием кратности резервирования элементов;

– значения показателей вариантов реализации структурных схем (надёжность, стоимость, вес, габариты и т.д.);

– результаты сравнения показателей структурных схем при различных способах резервирования и типах элементов, включая однотипное и разнотипное резервирование.

Методика и программный модуль управления структурной реконфигурацией БА МКА в штатном режиме и нештатных ситуациях (ПМ «Структурная реконфигурация»), используя данные о структуре, основных функциональных ограничениях, показателях надёжности элементов, возможных сценариях деградации, показателях эффективности и устойчивости функционирования БА МКА, бортового комплекса управления (БКУ) МКА, наземного комплекса управления (НКУ) МКА, позволяет оценивать и рассчитывать:

– пессимистические, оптимистические и произвольные сценарии деградации структур БА МКА, БКУ МКА, НКУ МКА, вызванные отказами реализации своих функций её критичных элементов;

– результаты вычисления динамических вкладов ФЭ в показатель надёжности функционирования БА МКА, БКУ МКА, НКУ МКА;

– прогноз значений показателя надёжности в штатных условиях применения БА МКА, БКУ МКА, НКУ МКА и при заданных сценариях выхода из строя отдельных ФЭ.

Методика и программный модуль управления структурно-функциональной реконфигурацией БА МКА в штатных и заданных условиях работы, аналитико-имитационного моделирования сценариев перераспределения функций между бортовым и наземным комплексами управления МКА (ПМ «Функциональная реконфигурация»), основываясь на данных о структуре, основных функциональных ограничениях, показателях надёжности элементов, возможных сценариях деградации БА МКА, БКУ МКА, НКУ МКА, генерирует:

– программы структурно-функциональной реконфигурации БА МКА для различных сценариев воздействия возмущающих факторов;

– программы гибкого перераспределения функций между БКУ МКА и НКУ МКА для обеспечения требуемого уровня надёжности, живучести бортовых систем МКА при заданных сценариях воздействия возмущающих факторов.

Методика и соответствующий программный модуль решения задачи автоматизированного многокритериального анализа и оценивания сценариев функционирования элементов и подсистем БА МКА, МКА, НКУ МКА (ПМ «Многокритериальность»), используя показатели эффективности функционирования, пессимистическую, оптими-

стическую, статистическую оценки частных показателей качества функционирования БА МКА, МКА, НКУ МКА по штатным и заданным сценариям их функционирования, экспертные знания о комплексном влиянии показателей качества функционирования БА МКА, МКА, НКУ МКА на интегральный показатель эффективности функционирования БА МКА, НКУ МКА, рассчитывает:

- интегральный показатель эффективности функционирования БА МКА, НКУ МКА;
- пессимистическую, оптимистическую, статистическую и обобщённую оценки интегрального показателя эффективности БА МКА, НКУ МКА по штатным и заданным сценариям их функционирования.

Программный модуль решения задачи согласованной организации вычислений перечисленных программных модулей, входящих в состав российского сегмента ПМК (ПМ «Координация»), используя как входные данные варианты сценариев функционирования БА МКА, НКУ МКА в штатных и заданных условиях функционирования; перечень задач, решаемых комплексом программных средств для многокритериального оценивания, анализа, прогнозирования значений показателей надёжности и живучести состояния БА МКА; обобщённые исходные данные для работы с описанными выше ПМ; сценарии экспериментов с каждым ПМ и их комбинациями; ограничения сценария проведения экспериментов с ПМ; рассчитанные описанными ПМ частные и обобщённые показатели надёжности и живучести основных элементов и подсистем БА МКА, НКУ МКА в штатных и заданных условиях функционирования (далее – частные и обобщённые показатели), позволят оценивать:

- значения интегрального показателя эффективности функционирования БА МКА, НКУ МКА;
- значения обобщённых показателей надёжности и живучести основных элементов и подсистем БА МКА, НКУ МКА в штатных и заданных условиях функционирования.

Архитектура экспериментального образца распределённого ПМК, разработанного в СПИИРАН, представлена на рис. 1.

Белорусский сегмент распределённого ПМК представлен экспериментальным образцом КПС ОН БА МКА, который предназначен для оценки показателей надёжности, работоспособности и живучести БА МКА, анализа данных функционирования (телеметрии) БА МКА на основе различных исходных данных и моделей. Он реализован в двух версиях: десктоп- и веб-версии. Десктоп-версия предназначена для его использования пользователем локального компьютера. Веб-версия предназначена для удалённой работы пользователя через веб-интерфейс (рис. 2) и интегрирована как распределённый белорусский сегмент в распределённый ПМК головного российского сегмента.

Входящие в его состав методика и программный модуль интервальной оценки показателей надёжности (ПМ ИО ПН) предназначены для двухсторонней интервальной оценки расчётных значений показателей надёжности (ПН) БА МКА для разных типов резервирования и режимов работы элементов БА МКА. Методика и ПМ базируются на модели надёжности БА в виде структурных схем надёжности и теории погрешностей и используют как исходные данные граничные значения интенсивностей отказов неразукрупняемых элементов БА МКА [9]. ПМ позволяет сбор, хранение, обработку, просмотр данных по структуре и параметрам надёжности элементов БА МКА. При этом дополнительный программный модуль позволяет визуализацию структурных схем надёжности анализируемой системы.

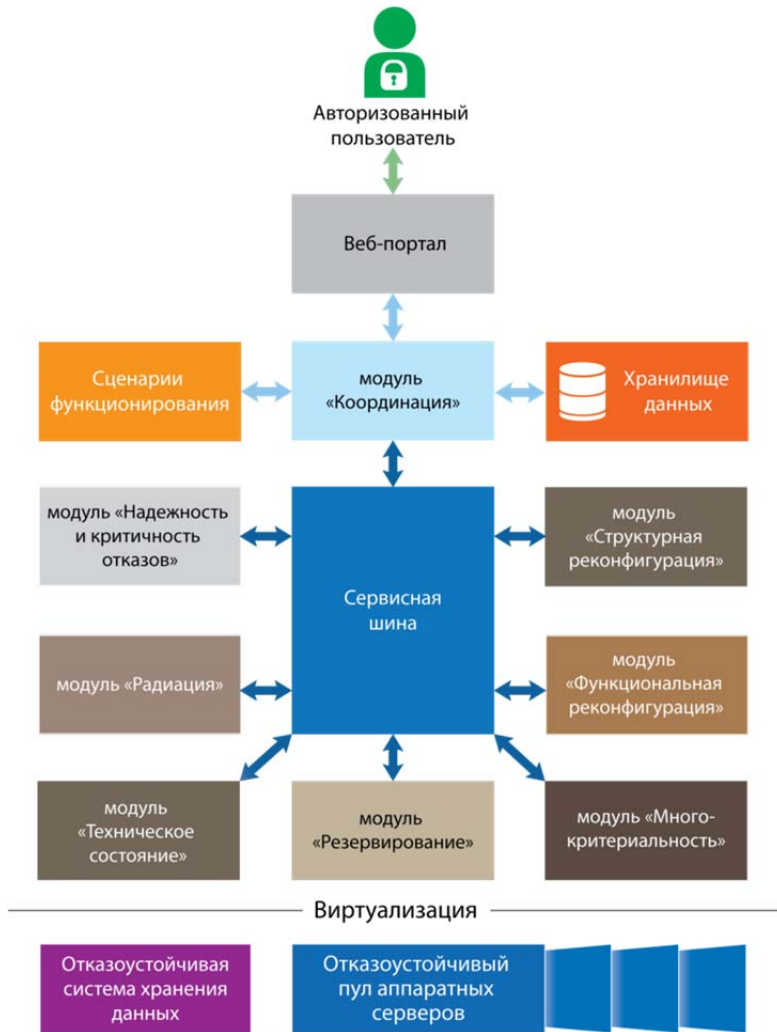


Рис. 1. Архитектура распределённого ПМК

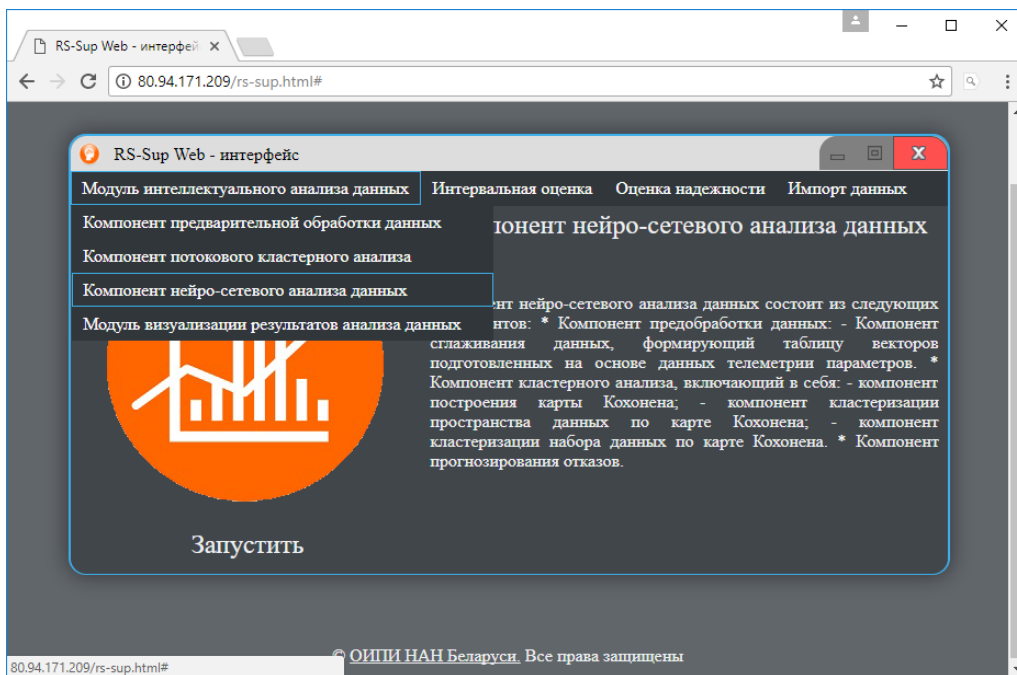


Рис. 2. Веб-интерфейс белорусского сегмента

Методика и ПМ интеллектуального анализа данных (ПМ ИАД) предназначены для интеллектуального анализа данных о состоянии-функционировании БА МКА на основе данных телеметрии: предобработки данных телеметрии, отбора существенных признаков, выделения потенциальных состояний анализируемых устройств путём кластеризации и прогнозной оценки среднего количества отказов или сбоев по кластерам-состояниям устройства и всему временному ряду телеметрии. ПМ представляет собой многокомпонентную структуру и включает группу компонентов нейросетевого анализа, основанных на применении карты Кохонена и методов обработки изображений; компонент отбора существенных признаков (основан на применении генетического алгоритма и многокритериальной оптимизации), компонент потоковой динамической кластеризации и компонент расчёта и прогнозной оценки среднего количества отказов. В ПМ ИАД интегрирован программный модуль 2D и 3D-визуализации результатов анализа данных [10].

Методика и ПМ логико-вероятностной оценки надёжности (ПМ ЛВОН) предназначены для расчёта значения вероятности безотказной работы, живучести системы на основании логической схемы работоспособности системы (схемы функциональной целостности) с возможностью учёта влияния теплофизических и механических воздействий среды. ПМ позволяет графический ввод и редактирование схемы функциональной целостности системы и оценку показателей надёжности и живучести для одиночных значений параметров элементов системы и серий значений параметров, построение графика зависимости [11].

Проведённые эксперименты и анализ, в том числе на реальных данных БА МКА, показали, что разработанное программно-математическое обеспечение для оценивания и обеспечения заданных значений показателей надёжности и живучести БА МКА позволило реализовать принципиально новый подход к решению задач многокритериального оценивания, анализа и прогнозирования значений показателей надёжности и живучести БА МКА с учётом воздействия факторов космического пространства, а также управления их реконfigurацией на различных этапах жизненного цикла.

Архитектура распределённого программного комплекса

Разработанный распределённый программный комплекс реализован на базе сервис-ориентированной веб-архитектуры (СОА). При этом реализован модульный вариант построения программно-математического обеспечения ПМК на базе СОА (рис. 3).

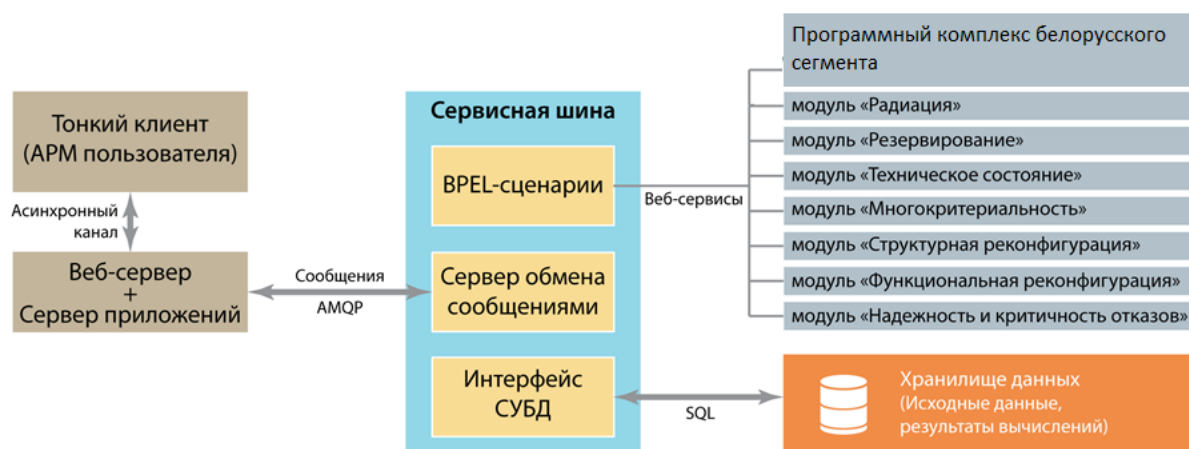


Рис. 3. Модульное построение ПМК на базе СОА

При реализации использовались программные компоненты, обеспечивающие строгое соблюдение стандартов межмашинного взаимодействия. Модуль «Координация» ПМК предоставляет возможность описания логики (сценария) работы распределённой имитационной системы на высокоуровневом стандартизированном языке VPEL. Администратор системы имеет возможность без программирования синтезировать новый сценарий расчётов интересующих показателей с использованием подключенных программных модулей исходя из поставленной цели исследования.

Переход к распределённым вычислениям обеспечивает существенное повышение гибкости аппаратно-программной реализации. Разработанный ПМК может быть распределён территориально и структурно, то есть выполняться на вычислительных мощностях, принадлежащих разным организациям, в том числе находящихся в разных городах и странах. При этом синтезированная система с точки зрения конечного пользователя будет функционировать как единое целое.

Данная возможность продемонстрирована на интеграции российского головного и белорусского сегментов распределённого программного комплекса. При этом российский головной сегмент находится территориально в СПИИРАН, а белорусский сегмент – в ОИПИ НАН Беларуси. Взаимодействие между российским и белорусскими сегментами возможно двумя путями:

– путём обращения ПМ российского сегмента с помощью соответствующего SOAP/XML или REST/JSON запроса к ПМ белорусского сегмента в рамках сценария, реализуемого ПМ «Координация» ПМК, выполнения расчётов белорусским ПМ и передачи средствами веб-запросов результатов в российский ПМ для дальнейшего использования (рис. 3, 4);

– путём использования разработанного многозадачного веб-интерфейса белорусского сегмента распределённого комплекса и запуска соответствующих ПМ как дополняющих функционально российский ПМК (рис. 2, 3).

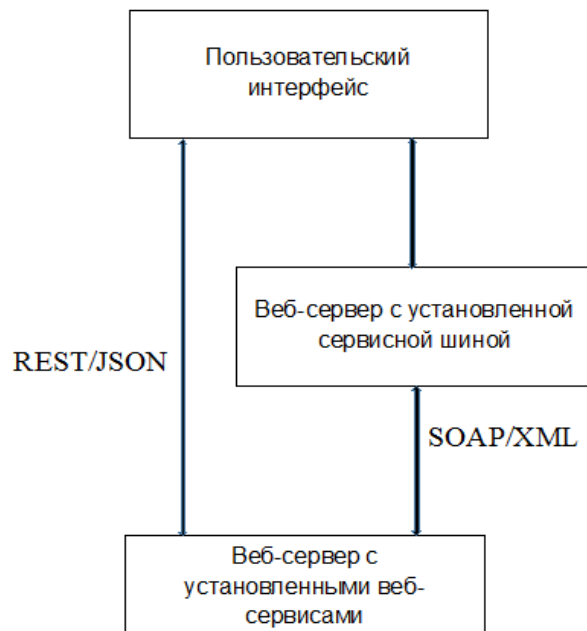


Рис. 4. Общая схема взаимодействия пользовательского интерфейса, партнёрского веб-сервера (с установленной шиной) и веб-сервера с установленными веб-сервисами

Заключение

Разработанный распределённый программный комплекс имеет следующие основные преимущества:

- создание и применение режимов сценарной работы координирующего модуля для проведения автоматических многократных просчётов позволяет повысить оперативность и обоснованность принимаемых решений;
- управление моделированием, визуализация и интерпретация результатов реализуются в пользовательском интерфейсе в виде тонкого (веб) клиента. Применение единого гибкого настраиваемого веб-интерфейса для всех используемых модулей позволяет предоставить оператору только необходимую информацию. Кроме того, использование 2D и 3D-визуализации данных позволяет на конструктивном уровне преодолевать проблему сложности интерпретации результатов;
- решение задач оценивания надёжности и живучести БА МКА представлено несколькими альтернативными вариантами методической и программной реализации, имеющими свою специфику;
- применение сервис-ориентированной архитектуры обеспечивает возможность дальнейшего развития распределённого комплекса программных средств для оценки надёжности и живучести БА МКА как с российской, так и с белорусской стороны. Кроме того, использование стандартизированных интерфейсов позволит эволюционно обновлять отдельные модули.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились в рамках Программы научно-технического сотрудничества Союзного государства «Мониторинг-СГ» (проект 1.4.1-1, проект №6МСГ/13-224-2); при финансовой поддержке: СПб ГПУ (мероприятие 6.1.1), ИТМО (субсидия 074-U01), грантов РФФИ (№№15-07-08391, 15-08-08459, 16-07-00779, 16-08-00510, 16-08-01277, 16-29-09482-офи-м, 17-08-00797, 17-06-00108, 17-01-00139, 17-20-01214, 17-29-07073-офи-м), госзадания Министерства образования и науки РФ №2.3135.2017/4.6; в рамках бюджетных тем №№0073–2014–0009, 0073–2015–0007, Международного проекта ERASMUS +, Capacity building in higher education, № 73751-EPP-1-2016-1-DE-EPPKA2-SBHE-JP, Новые стратегии обучения инженеров с использованием сред визуального моделирования и открытых учебных платформ; госзадания Министерства образования и науки РФ №2.3135.2017/4.6.

Библиографический список

1. Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению. Часть I // Известия РАН. Теория и системы управления. 2001. № 1. С. 5-22.
2. Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению. Часть II // Известия РАН. Теория и системы управления. 2001. № 2. С. 5-21.
3. Калинин В.Н, Соколов Б.В. Многомодельный подход к описанию процессов управления космическими средствами // Известия РАН. Теория и системы управления. 1995. № 1. С. 149-156.
4. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
5. Городецкий В.И. Многоагентные системы: современное состояние исследований и перспективы применения // Новости искусственного интеллекта. 1996. № 4. С. 44-59.

6. Калинин В.Н., Резников Б.А., Варакин Е.И. Теория систем и оптимального управления. Ч. 1. Основные понятия, математические модели и методы анализа систем. Л.: ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1979. 319 с.

7. Калинин В.Н., Соколов Б.В. Динамическая модель и алгоритм оптимального планирования комплекса работ с запретами на прерывание // Автоматика и телемеханика. 1987. № 1. С. 106-114.

8. Охтилев М.Ю., Мустафин Н.Г., Миллер В.Е., Соколов Б.В. Теоретические основы проактивного управления сложными объектами // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 11. С. 7-15.

9. Кульбак Л.И., Алюшкевич В.Б., Золотой С.А. Оценка надёжности бортовой аппаратуры малых космических аппаратов в процессе их полёта // Информатика. 2015. № 4. С. 109-118.

10. Skobtsov V., Novoselova N., Arhipov V., Potryasaev S. Intelligent Telemetry Data Analysis of Small Satellites // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2017. V. 574. P. 351-361. DOI: 10.1007/978-3-319-57264-2_36

11. Скобцов В.Ю., Лапицкая Н.В., Саксонов Р.В., Власюк С.В. Логико-вероятностный подход к определению параметров надёжности // Сборник тезисов докладов IX международной научно-технической конференции «Информационные технологии в промышленности» (ИТИ*2017). Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2017. С. 133-134.

**SERVICE-ORIENTED DISTRIBUTED SOFTWARE COMPLEX
FOR EVALUATION AND MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF RELIABILITY
AND SURVIVABILITY OF ON-BOARD EQUIPMENT
OF SMALL SATELLITES: RUSSIAN AND BELARUSIAN SEGMENTS**

© 2017

- V. A. Zelentsov** Doctor of Science (Engineering), Professor, Chief Researcher;
Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg, Russian Federation;
v.a.zelentsov@gmail.com
- S. A. Potryasaev** Candidate of Science (Engineering), Senior Researcher;
Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg, Russian Federation;
spotryasaev@gmail.com
- B. V. Sokolov** Doctor of Science (Engineering), Professor, Deputy Director for Research;
Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg, Russian Federation;
sokol@iiias.spb.su
- V. Yu. Skobtsov** Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Leading Researcher;
United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences
of Belarus, Minsk, Belarus;
vasko_vasko@mail.ru
- S. A. Korenyako** Executive Director of the Union State Program “Monitoring-SG”, Head of the
Department of Joint Programs of Space and Information Technologies;
United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences
of Belarus, Minsk, Belarus;
korenjako@newman.bas-net.by
- D. S. Kim** Engineer; United Institute of Informatics Problems of the National Academy
of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus;
d.kim2009@tut.by

- E. N. Vakulchyk** Post-graduate Student;
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus;
evakulchik@yandex.by
- L. I. Kulbak** Candidate of Science (Engineering), Leading Researcher;
United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences
of Belarus, Minsk, Belarus;
lkulbak@yandex.ru
- E. D. Nikolaenya** Junior Researcher;
United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences
of Belarus, Minsk, Belarus;
nikolaenya.e.d@gmail.com
- N. V. Lapitskaya** Head of the Department of Information Technology Software;
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus;
lapan@mail.ru
- R. V. Saksonov** Leading Engineer;
Unitary Enterprise "Geoinformation Systems", Minsk, Belarus;
roman_saksonov@tut.by

The paper presents solutions to the problems of estimation, analysis and forecasting of indicators of reliability, survivability and efficiency of on-board equipment (BE) of small satellites (SS) in standard and specified conditions of operation. A distributed software complex for multi-criteria evaluation, analysis and prediction of the values of reliability and survivability indicators of SS BE was developed taking into account the factors of outer space, as well as control of their reconfiguration at different stages of the life cycle (SPIIRAS). The developed complex of methodologies and software tools for estimating the reliability of SS BE (UIIP) was integrated as a distributed segment into the SPIIRAS software complex. The developed software systems are based on using the applied control theory of structural dynamics of complex objects, as well as the developed methods of estimation, analysis and forecasting of indicators of reliability, survivability and efficiency of SS BE, and database mining approach.

Small satellites; on-board equipment; control of structural dynamics; estimation; analysis and prediction of reliability, survivability and efficiency indicators of SS BE; distributed software complex; database mining; visualization; web-based system; service-oriented web architecture; web interface.

Citation: Zelentsov V.A., Potryasaev S.A., Sokolov B.V., Skobtsov V.Yu., Korenyako S.A., Kim D.S., Vakulchyk E.N., Kulbak L.I., Nikolaenya E.D., Lapitskaya N.V., Saksonov R.V. Service-oriented distributed software complex for evaluation and multi-criteria analysis of reliability and survivability of on-board equipment of small satellites: Russian and Belarusian segments. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2017. V. 16, no. 4. P. 118-129. DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-4-118-129

References

1. Vasil'ev S.N. From classical control problems to intelligent control. *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2001. V. 40, Iss. 1. P. 1-18.
2. Vasil'ev S.N. From classical control problems to intelligent control, part II. *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2001. V. 40, Iss. 2. P. 169-185.
3. Kalinin V.N., Sokolov B.V. A many-model approach to description of space means control processes. *Izvestiya Akademii Nauk, Teoriya i Sistemy Upravleniya*. 1995. No. 1. P. 149-156. (In Russ.)
4. Okhtilev M.Y., Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Intellektual'nye tekhnologii monitoringa i upravleniya strukturnoy dinamikoy slozhnykh ob"ektov* [Intelligent technologies for monitoring and control of the structural dynamics of complex objects]. Moscow: Nauka Publ., 2006. 410 p.
5. Gorodetskiy V.I. Multiagent systems: the current state of research and application prospects. *Novosti iskusstvennogo intellekta*. 1996. No. 4. P. 44-59. (In Russ.)
6. Kalinin V.N., Reznikov B.A., Varakin E.I. *Teoriya sistem i optimal'nogo upravleniya. Ch. 1. Osnovnye ponyatiya, matematicheskie modeli i metody analiza sistem* [System and

optimal-control theory. Part 1. Key concepts, mathematical models and system analysis methods]. Leningrad: Mozhaisky Military Space Institute Publ., 1979. 319 p.

7. Kalinin V.N, Sokolov B.V. Dynamic model and algorithm for optimal planning of a complex of work with prohibitions on interrupting. *Avtomatika i Telemekhanika*. 1987. No. 1. P. 106-114. (In Russ.)

8. Okhtilev M.Y., Mustafin N.G., Miller V.E., Sokolov B.V. Concept of Proactive Control over Complex Objects: Theoretical and Technological Basis. *Journal of Instrument Engineering*. 2014. V. 57, no. 11. P. 7-15. (In Russ.)

9. Kulbak L.I., Aliushkevich V.B., Zolotoy S.A. Assessment of reliability of the onboard equipment of small spacecrafts during their flight. *Informatics*. 2015. No. 4. P. 109-118. (In Russ.)

10. Skobtsov V., Novoselova N., Arhipov V., Potryasaev S. Intelligent Telemetry Data Analysis of Small Satellites. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2017. V. 574. P. 351-361. DOI: 10.1007/978-3-319-57264-2_36

11. Skobtsov V.Yu., Lapitskaya N.V., Saksonov R.V., Vlasyuk S.V. Logical-probabilistic approach to the evaluation of reliability parameters. *Proceedings of the 9th International Scientific and Technical Conference «Information Technologies in Industry» (ITI*2017)*. Minsk: United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus Publ., 2017. P. 133-134. (In Russ.)