

**ПРОГРАММНАЯ ПОДДЕРЖКА ИСПЫТАНИЙ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ
АНТЕНН И ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ
ВЕСОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ**

И. В. Ковалев¹, Ю. О. Баданина^{2*}

¹Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнёва
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

²АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева»
Российская Федерация, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52

*E-mail: secret398@mail.ru

Современные тенденции в развитии космической отрасли направлены на стремительный рост рынка широкополосных услуг связи. Космические аппараты с крупногабаритными трансформируемыми антеннами создали новый виток в конкурентной борьбе за потребителя. Надёжность любого оборудования для применения в составе космических аппаратов определяющим образом зависит от качества их наземной экспериментальной отработки. Для обеспечения высокого качества наземной экспериментальной отработки требуется создание технологии, метрологического обеспечения, специализированного технологического оборудования – высокоточной активной автоматизированной многоканальной системы компенсации весовой составляющей.

Разработана структура платформы автоматизации, соответствующая принятому технологическому процессу проведения испытаний. Выполнена постановка задачи и выделены основные функции подготовки и проведения испытаний, которые требуют программной поддержки. Для этого построена имитационная модель функционирования программного обеспечения системы компенсации весовой составляющей. Внедрены программные инструменты мониторинга, позволяющие проводить тестирование физических характеристик крупногабаритной трансформируемой антенны и анализ логики ее функционирования при постоянном контроле, представляющей информацию о реальном состоянии оборудования.

Разработанное программное обеспечение внедрено в программно-аппаратный комплекс, предназначенный для выполнения испытаний крупногабаритной трансформируемой антенны на системе компенсации весовой составляющей. Использование программного обеспечения расширяет возможности исследования крупногабаритной трансформируемой антенны и повышает качество и надёжность проводимых испытаний.

Ключевые слова: космический аппарат, крупногабаритный рефлектор, автоматизация, система компенсации весовой составляющей, многоканальная система, программное обеспечение, человеко-машинный интерфейс.

Sibirskii Gosudarstvennyi Aerokosmicheskii Universitet
imeni Akademika M. F. Reshetneva. Vestnik
Vol. 18, No. 1, P. 132–139

**SOFTWARE SUPPORT FOR TESTING OF LARGE SPACECRAFT REFLECTOR
AND EVALUATION OF THE OPERATION PARAMETERS
OF COMPONENT WEIGHT COMPENSATION SYSTEM**

I. V. Kovalev¹, J. O. Badanina^{2*}

¹Reshetnev Siberian State Aerospace University

31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

²JSC “Information satellite system” named after academician M. F. Reshetnev”
52, Lenin Str., Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russian Federation

*E-mail: secret398@mail.ru

Modern trends in the development of space industry focused on rapid market growth in broadband services. Spacecraft with transformable large-sized reflectors created a new round in the competition for the consumer. The reliability of any equipment for use in the spacecraft decisively depends on the quality of their experimental testing ground. To ensure high quality terrestrial experimental testing requires the creation of technologies, metrological maintenance, specialized equipment – an automated high-precision active component of a multichannel system weight compensate.

The structure of the platform automation, consistent workflow testing, has been developed. The authors have the set of tasks and identified the main functions of test preparation and conduction that require software support. For this purpose, we have built a simulation model of the functioning of the system software component of the weight compensation. Developed software subsystems provide the visibility building complex sequences of test procedures, as well as the convenience and accuracy of the results display. Implemented software monitoring tools allow testing of the physical characteristics of large antennas and convertible analysis of its functioning logic with constant monitoring to provide information on the real state of the equipment.

The developed software is implemented in the hardware and software system for performing testing of large transformable antenna system weight component of compensation. Using the software extends the capabilities of the large study convertible antenna and improves the quality and reliability of the tests carried out.

Keywords: spacecraft, bulky reflector, automation, system weight component compensation controller, software, human-machine interface.

Введение. Современные тенденции в развитии крупногабаритных трансформируемых рефлекторов (КТР) антенн космических аппаратов (КА) охватывают расширение рабочего диапазона частот, снижение удельного веса и возрастание общих габаритов их конструкций.

В области гражданского космоса в настоящее время в мире отмечается стремительный рост рынка широкополосных услуг связи. Крупногабаритные антенные системы обеспечивают прямой доступ персональных потребителей к информационным ресурсам КА, минуя наземных операторов. Стоимость информационных услуг непрерывно снижается за счет эксплуатации энергетически более мощных платформ. Совершенствуются и формируются новые рынки услуг мобильной связи, радиовещания, доступа в Интернет, в будущем возможно появление персонального телевидения и др. [1–3].

Появление на рынке КА, имеющих КТР, увеличивает конкурентоспособность космических систем связи, приводя к глобализации рынка информационных услуг, создавая рыночные преимущества тем странам, которые владеют необходимыми спутниковыми технологиями широкополосного мультимедийного вещания.

По состоянию на 2015 г. на орбите находятся более 40 КТР гражданского и двойного назначения

(табл. 1). В настоящее время в США, Европе, Японии, Индии разрабатываются новые системы [4].

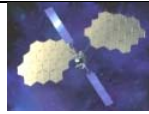

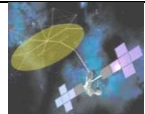
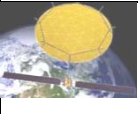
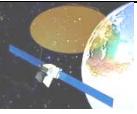
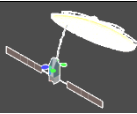
В области оборонного применения КТР, как ключевой элемент, обеспечат создание технических средств для систем связи, а также космического наблюдения, позволяющих проводить непрерывный мониторинг наземных станций спутниковой связи, радиорелейных и тропосферных линий связи, излучения телеметрических передатчиков баллистических ракет и КА и т. д.

Специализированные и военные системы связи работают на частотах ультракоротких волн (УКВ). С использованием КТР можно предоставить услуги на мобильные терминалы. Для достижения высоких значений КУ необходимо применение больших развертываемых рефлекторов с диаметром апертуры более 10 м. Более эффективное управление сетью множественного доступа позволяет оптимизировать использование полосы частот УКВ и общую пропускную способность системы [5–7].

Для недавно освоенных диапазонов дециметровых и сантиметровых волн возникла потребность в создании больших КТР диаметром 18–24 м. Для предоставления услуг подвижной спутниковой связи выделены отдельные полосы частот, наиболее распространенными из которых являются полосы L- и S-диапазона (подвижная спутниковая служба).

Таблица 1

Характеристики запущенных спутников

Космический аппарат	Kiku-8	Eutelsat 10A	TerreStar-1	Skyterra-1	MEXSAT	XICS (План)
						
Запуск	12.2006	04.2009	07.2009	11.2010	12.2012	02.2018
Зона обслуживания	Япония	Европа	Северная Америка	Северная Америка	Мексика	Япония и прилегающая зона
Платформа	ETS-VIII (JAXA)	Spacebus-4000 (TAS)	LS1300 (SS/L)	702HP GMS (Boeing)	702HP GMS (Boeing)	NextarGhp (NEC)
Диаметр рефлектора	13 м (NTSpace)	12 м (Harris)	18 м (Harris)	22 м (Harris)	22 м (Harris)	30 м (NTSpace)
Пользовательский терминал	Специальные терминалы					Обычные сотовые телефоны

Мировым лидером по производству КТР является фирма HarrisCorporation (рис. 1).

Постановка задачи. Приведенная выше информация указывает на существенное отставание отечественных разработок в области создания КТР, поэтому требуются радикальные меры по мобилизации ресурсов на данное направление космической деятельности [8–10].

Создаваемые КТР предназначены для решения следующих задач:

- выбор оптимальных вариантов конструкций, обеспечивающих достижение заданных технических характеристик;
- отработка методик изготовления металлического трикотажного сетеполотна, оптимизированного для L- и S-диапазонов;
- отработка методик изготовления высокомодульных размеростабильных шнуров для формообразующей структуры рефлекторов;
- отработка математических моделей, применяемых при разработке КТР;
- отработка методик проведения тепловых и механических испытаний, применяемых при разработке КТР;

- отработка методик измерения и подтверждения точности геометрии КТР и их составных частей как на земле, так и на орбите;
- отработка методик испытательного оборудования для развертывания КТР.

Основные технические требования к рефлектору диаметром 24 м приведены в табл. 2.

Для решения задачи отработки и оценки параметров надёжности функционирования высокотехнологичных КТР и их составных частей как в наземных условиях, так и при воздействии вакуума и экстремальных температур требуется создание технологии, метрологического обеспечения, специализированного технологического оборудования – высокоточной активной автоматизированной многоканальной системы компенсации весовой составляющей (СКВС). Ввиду исключительной сложности конструкции КТР необходимо до запуска антенны в космос смоделировать и проверить на земле в цеховых условиях ее работоспособность, чтобы исключить нештатные ситуации на орбите. Все эти ситуации надо «выловить» на земле, а для этого мы должны КТР обезвесить [7; 8; 11; 12].

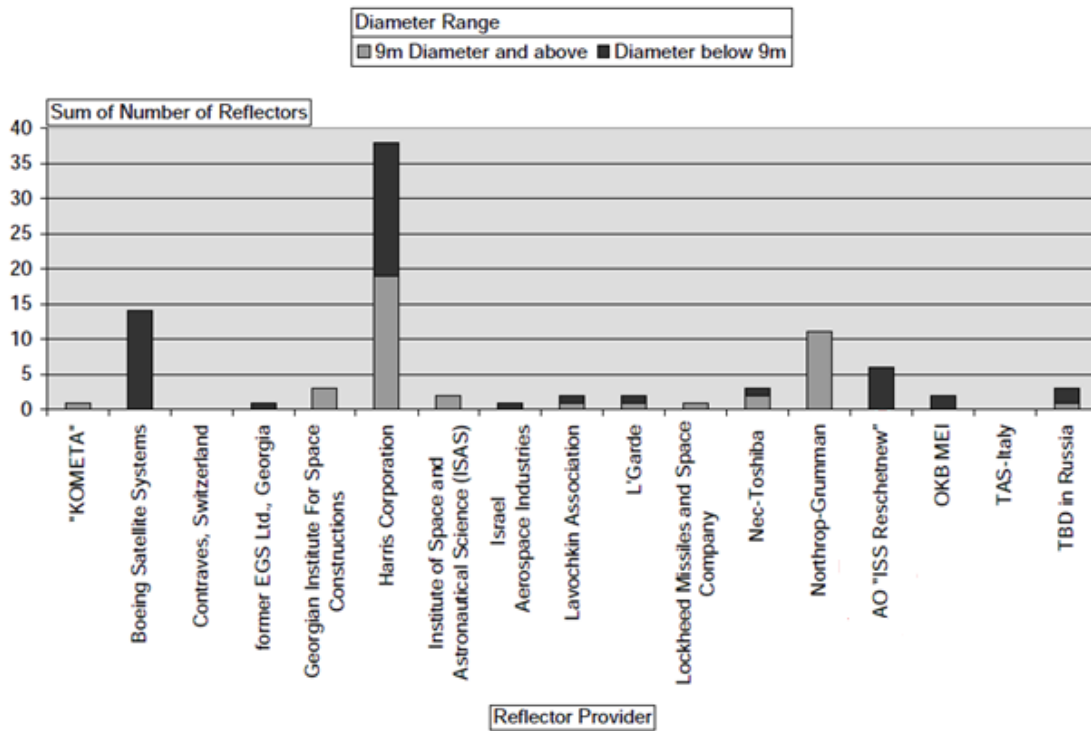


Рис. 1. Гистограмма по производству КТР

Таблица 2

Технические требования к рефлектору диаметром 24 м

Диаметр рефлектора	До 24 м
Диапазон рабочих частот	0,5–1,5 ГГц (окончательный выбор диапазона частот осуществляется по результатам разработки и защиты эскизного проекта)
Масса рефлектора, приведенная к площади поверхности	$m/S < 0,42 \text{ кг/м}^2$ (уточняется на этапе эскизного проекта) для рефлектора диаметром до 24 м, где m – масса рефлектора, S – площадь поверхности рефлектора
Погрешность формы радиоотражающей поверхности	Среднее квадратическое отклонение (СКО) от теоретической формы $< 0,02-0,03\lambda$, где λ – длина волны на максимальной частоте рабочего диапазона частот

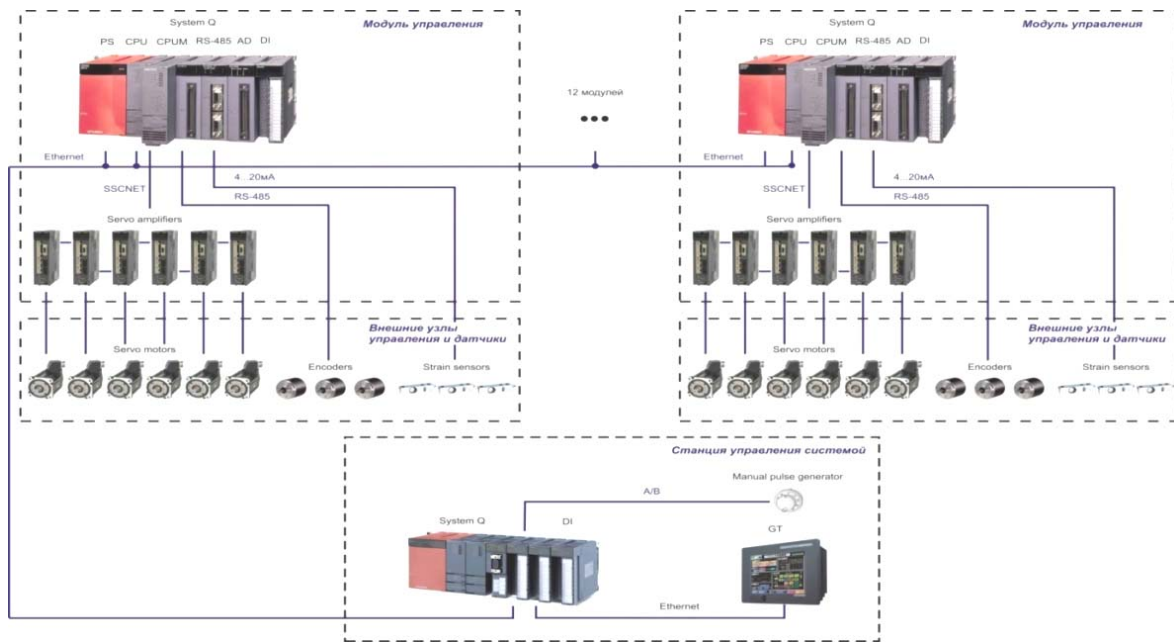


Рис. 2. Структура платформы автоматизации

Многоканальная система компенсации весовой составляющей. Проведенный анализ отечественных и зарубежных разработок показал, что наиболее эффективным решением реализации СКВС является интеллектуальная следящая система на основе платформы автоматизации MELSEC System Q Mitsubishi Electric. Структурная схема автоматизации представлена на рис. 2 [13].

Платформа Mitsubishi System Q основана на прогрессивной многопроцессорной технологии: одна система будет иметь несколько процессоров – процессор программируемого логического контроллера (ПЛК), процессор управления движением, процессор управляющей программы на основе SCADA-системы с возможностью полной интеграции запросов по управлению и обмену данными на единой платформе [13–16].

Процессорный модуль управления движением управляет и синхронизирует подключенные к нему сервоусилители, серводвигатели и набор необходимых сенсоров, интегрированных в систему управления для функции непрерывной визуализации и слежения за позициями центров масс звеньев спиц. Каждый модуль системы включает в себя отдельный блок управления, состоящий из ПЛК, модуля управления движением, модуля аналоговых входов, модуля цифровых входов, модуля выходов, источника питания и сервоусилителей, расположенных на базовом шасси. Все модули соединены с базовой управляющей станцией средствами Ethernet. Базовая управляющая станция состоит из ПЛК, модуля MES-интерфейса, коммутационного модуля Ethernet и персонального компьютера с операционной системой для контроллеров позиционирования и SCADA-системы [16–18].

По результатам испытаний в наземных условиях подтверждается:

- работоспособность КТР в течение срока активного существования КА в условиях космического пространства;

- надежность КТР;
- точность КТР;
- конкурентоспособность.

Необходимо разработать программное обеспечение с учетом заявленных требований, поскольку управление традиционными ручными способами неэффективно, трудоемко, несет большое негативное влияние человеческого фактора, зависит от скорости реакции оператора, занимает много времени и неконкурентоспособно [17; 19].

Программное обеспечение для подготовки и проведения испытаний раскрытия антенны на системе компенсации весовой составляющей. Поставлена задача создания программного обеспечения для СКВС, которая внедрена АО «ИСС» и предназначена для компенсации собственных весов подвижных элементов крупногабаритной конструкции при сборочных операциях и в процессе отработки их функционирования [7].

Проведенные исследования существующих методов и технологических подходов к проведению испытаний сложных технических систем позволили построить собственные программные решения.

Архитектура программного обеспечения разработана таким образом, что все опции управления могут быть сконфигурированы и оптимально согласованы с размерами под конкретный тип КТР, а впоследствии, при изменении условий и задач производства, расширены или переконфигурированы. Масштабируемость позволяет реализовать универсальность разработанного программного обеспечения СКВС [20].

Для исключения влияния человеческого фактора и различного рода ошибок при испытаниях разработан интеллектуальный человеко-машинный интерфейс (рис. 3) для тестирования, отладки, работы, с возможностью задания режима работы с непрерывным ведением протокола результатов испытаний и постоянным контролем аварийных ситуаций, режима исследования и калибровки.

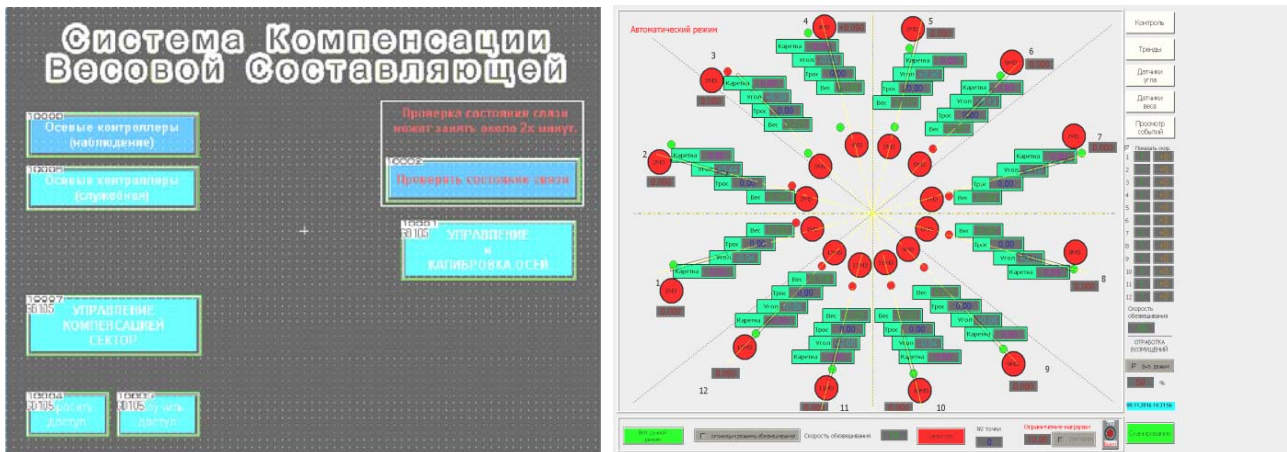


Рис. 3. Интеллектуальный человеко-машинный интерфейс

Проведение имитационных экспериментов позволило выделить основные задачи и режимы работы, которые требуют программной поддержки в процессе подготовки и проведения испытаний КТР с использованием СКВС. Программное обеспечение должно осуществлять поддержку решения следующих задач:

- формирование базы команд и алгоритма работы системы;
- задание алгоритма работы и параметров: величины требуемого натяжения гибких связей, необходимой скорости (законы изменения скорости) серводвигателей, отслеживающих вертикальное положение гибкой связи, контрольную величину усилия гибкой связи по всей траектории раскрытия спиц антенны;
- учет влияния заранее непрогнозируемых динамических процессов;
- настройка законов регулирования и динамических параметров разгона/торможения, необходимых для плавного трогания/останова, обработки сигналов с датчиков измерения угла и весоизмерительных ячеек;
- выполнение передачи команд и приема;
- анализ обработки команд;
- ведение протокола результатов испытаний;
- контроль аварийных ситуаций.

Пример графического представления имитационной модели функционирования программного обеспечения СКВС показан рис. 4.

Выполнена программная реализация, позволяющая решать все указанные задачи и осуществлять информационную и программно-инструментальную поддержку подготовки и проведения испытаний КТР с использованием СКВС.

Программное обеспечение реализовано в интегрированной среде разработки, состоящей из комплекса программных средств: GX Works3 для программирования и обслуживания MELSEC iQ-R, GT Works3 – программное обеспечение для разработки экранов, MT Works2 – среда разработки контроллеров управления движением. Программное обеспечение разработано на высокоуровневых графических языках: LAD стандарта IEC 61131-3 и FBD стандарта IEC 61131-3 [21], также входит в стандарт IEC-61499 [22]. Применена технология LD-программирования –

неформализуемый процесс разработки закона логического управления объектом, основанный на глубоком понимании технического задания, анализе возможных вариантов и выборе оптимального решения в соответствии с заданным критерием [18].

Программное обеспечение обеспечивает работу системы в следующих режимах:

- режим сборки;
- настройка, калибровка и диагностика;
- режим испытаний (компенсации) автоматический/ручной;
- режим удержания;
- режим отработки возмущений, выбора закона регулирования;
- протокол результата испытаний;
- просмотр событий и аварийных сообщений;
- архив.

Для каждого испытания отдельно могут быть настроены собственные параметры, соответствующие типу КТР, откалиброваны и протарированы датчики веса и угла, выбран алгоритм работы, произведена передача и анализ введенных данных. На этом подготовка испытаний завершается. Далее заданная последовательность команд передается в подсистему выполнения испытаний. Пример настройки для четырех спиц антенны показан на рис. 5.

Программное обеспечение ведет контроль и регулировку параметров имитации согласно заданным условиям и отображает в реальном времени их текущие значения и результаты анализа. Разработанная схема визуализации, включающая условные обозначения и цветовую индикацию, позволяет оператору, проводящему испытания, наблюдать за ходом испытания и определять корректность отработки СКВС. Окно мониторинга непрерывно обновляется, отображая текущее состояние испытательных действий. Оператор может остановить процесс испытаний для внешнего осмотра КТР, изменять или вносить коррективы в заданные параметры, выполнять моделирование процесса раскрытия, возобновлять процесс испытаний.

Вся хронология действий оператора, протокол событий и аварийные сообщения сохраняются в архиве и доступны для просмотра и анализа.

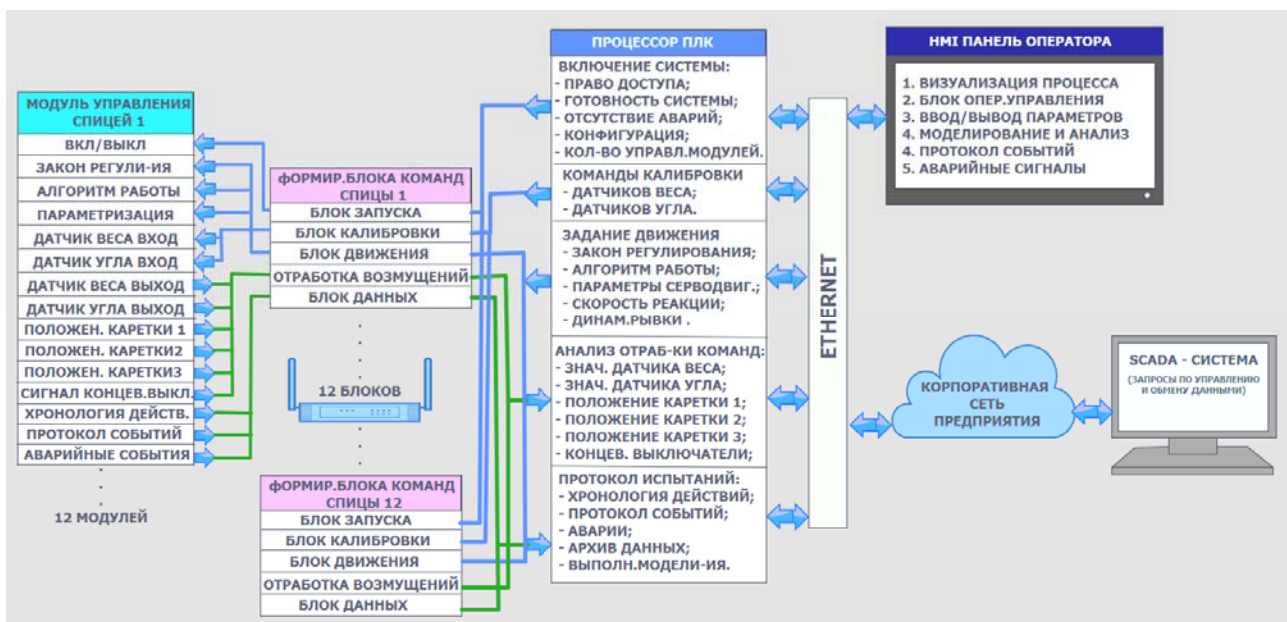


Рис. 4. Имитационная модель функционирования программного обеспечения СКВС



Рис. 5. Пример настройки для четырех спиц антенны

Заключение. Разработанное программное обеспечение внедрено в программно-аппаратный комплекс, предназначенный для выполнения испытаний КТР с использованием СКВС. Использование программного обеспечения расширяет возможности исследования КТР и повышает качество и надежность проводимых испытаний.

Внедрение программных инструментов мониторинга позволяет проводить тестирование физических характеристик КТР и методов анализа логики ее функционирования при постоянном контроле, представляющей информацию о реальном состоянии оборудования. Разработанные программные подсистемы обеспечивают наглядность построения сложных последовательностей испытательных процедур, а также удобство и корректность отображения результатов.

Реализованный подход дает возможность использовать программное обеспечение как инструмент исследователя КТР, а также для выполнения автоматизированных испытаний КТР с использованием СКВС.

Благодарности. Работа подготовлена в рамках выполнения проекта по государственному заданию № 2.2867.2017/ПЧ.

Acknowledgements. The work was prepared as part of the project to the state task № 2.2867.2017 / PCH.

Библиографические ссылки

- Суайнерд Г., Старк Д. Разработка систем космических аппаратов : пер. с англ. / под ред. П. Фортескью. М. : Альпина Паблишер, 2015. 765 с.
- Проектирование надежных спутников связи / В. Г. Афанасьев [и др.] ; под ред. М. Ф. Решетнева. Томск : МГП «РАСКО», 1993. 221 с. Сер. «Космическая связь».
- Тестоедов Н. А. Экспериментальная отработка космических аппаратов на механические воздействия / Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2008. 152 с.
- Александровская Л. Н., Круглов В. И., Кузнецов А. Г. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем. М. : Логос, 2003. 736 с.
- Гурьянов А. Дополнительные возможности в сквозной автоматизации // Control Engineering Россия. 2016. № 6(66). С. 30–35.
- О динамике крупногабаритного разворачивающегося рефлектора / В. И. Гуляев [и др.] // Прикладная механика. 2003. № 39. 9. С. 109–115.
- Хеджпет Д. М. Конструкции для точных дистанционно раскрываемых антенн. Заключительный отчет / Подготовлено Национальным аэрокосмическим и исследовательским центром Langley по контракту № NASA-18567. 1989.
- Ковалев И. В., Кикоть Ю. О. Мобильная система имитации невесомости для крупногабаритных космических аппаратов // Вестник СибГАУ. 2014. Вып. 4(56). С. 173–178.
- Пат. 1828261 А 1 SU G 01 М 19/00. Устройство обезвешивания элементов / Ануприенко Г. Е., Карпачев Ю. А., Кухочкий Л. М., Мишнеев А. А., Павлюк В. Н., Рудых Ю. Н., Савенко Ю. Н. (RU). 20.09.1996.
- Пат. 5848899А. Method and device for simulating weightlessness / Howard Ian P. (US). 15.12.1998.
- Пат. 233970 С 2 G 61 М 19/00 В 64 П 7/00. Устройство имитации невесомости механизмов с гибкой конструкцией элементов / Дроздов А. А., Агашкин С. В., Михнев М. М., Ушаков А. Р. (RU). 27.09.2008.
- Голдобин Н. Н. Методика оценки формы радиотражающей поверхности крупногабаритного трансформируемого рефлектора космического аппарата // Вестник СибГАУ. 2013. Вып. 1(47). С. 106–111.
- Ковалев И. В., Баданина Ю. О. Платформа автоматизации системы компенсации весовой составляющей для крупногабаритных рефлекторов космических аппаратов // Вестник СибГАУ. 2016. Т. 17(1). С. 131–136.
- Дебда Д. Е., Пятибратов Г. Я. Проблемы создания комбинированных систем компенсации силы тяжести объектов обезвешивания. Новочеркасск : ЮРГТУ, 2000. 32 с. Деп. в ВИНТИ 16.02.2000, № 396-В00.
- Подураев Ю. В. Мехатроника: основы, методы, применение. М. : Машиностроение, 2007. 256 с.
- Платформа Mitsubishi Electric MELSEC System Q и её компоненты [Электронный ресурс]. URL: <http://mitsubishielectric.ru> (дата обращения: 01.02.2017).
- Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления / пер. с англ. Б. И. Копылова. М. : Лаборатория базовых знаний, 2002. 832 с.
- Программное обеспечение GXIЕCDeveloper и MX OPCServer [Электронный ресурс]. URL: <http://mitsubishielectric.com> (дата обращения: 01.02.2017).
- Романов А. В., Тестоедов Н. А. Основы проектирования информационно-управляющих и механических систем космических аппаратов / под ред. д-ра техн. наук, проф. В. Д. Атамасова. СПб. : АНО ЛА «Профессионал», 2015. С. 240.
- К расчету раскрытия крупногабаритных трансформируемых космических конструкций / В. Н. Зимин [и др.] // Решетневские чтения : материалы XVII Междунар. науч. конф. (12–14 нояб. 2013, г. Красноярск). Красноярск, 2013. С. 68–69.
- IEC 61131-3(2013). Микроконтроллеры программируемые. Ч. 3. Языки программирования. 2013. 224 с.
- IEC-61499(2005). Распределенные системы управления и автоматизации. 2005. 244 с.

References

- Suajnerd G., Stark D. *Razrabotka sistem kosmicheskikh apparatov* [Development of spacecraft systems]. Ed. P. Fortesk'ju. Moscow, Al'pina Publ., 2015, 765 p.
- Afanas'ev V. G. et al. *Proektirovanie nadezhnykh sputnikov svyazi* [Design Communications the reliable satellites]. Tomsk, RASCO Publ., 1993, 221 p.
- Testoedov N. A. *Ekspierimental'naya otrabotka kosmicheskikh apparatov na mekhanicheskie vozdeystviya* [Experimental otrabotka kosmicheskikh devices on the mechanical impact]. Krasnoyarsk, SibGAU Publ., 2008, 152 p.

4. Aleksandrovskaya L. N., Kruglov V. I., Kuznetsov A. G. *Teoreticheskie osnovy ispytaniy i eksperimental'naya otrabotka slozhnykh tekhnicheskikh sistem* [Theoretical basis of the test and experimental development of complex technical systems]. Moscow, Logos Publ., 2003, 736 p.
5. Gur'janov A. [More features through automation]. *Control Engineering Rossiya*. 2016, No. 6(66), P. 30–35 (In Russ.).
6. Gulyaev V. I., Gaydaychuk V. V., Cherniavsky A. G., Lenin L. [On the dynamics of the unfolding of large-sized reflector]. *Prikladnaya mekhanika*. 2003, Vol. 39.9, P. 109–115 (Russ.).
7. John M. Hedzhepet. *Konstruksii dlya tochnykh distantsionno raskryvaemykh antenn. Zaklyuchitel'nyy otchet. Podgotovleno Natsional'nyy aerokosmicheskim issledovatel'skim tsentrom Langley po kontraktu № NASA-18567* [Design for precise remote antennas disclosed. Final Report. Prepared by the National Aerospace Research Center and Langley contract № NASA-18567]. 1989.
8. Kovalev I. V., Kikot J. O. [Mobile system simulate weightlessness for large spacecraft]. *Vestnik SibGAU*. 2014, No. 4 (56), P. 173–178 (In Russ.).
9. Anuprienko G. E., Karpachev Y. A., Kuhotsky L. M., Mishneev A. A., Pavlyuk V. N., Rudykh Yu. N., Savenko Y. N. *Ustroystvo obezveshivaniya elementov* [The device of elements weightlessness]. Patent RF, No. 1828261 A1 G01M19 SU / 00, 1996.
10. Ian P. Howard. Method and device for simulating weightlessness. Patent RF, No. 5848899A, 1998.
11. Drozdov A. A., Agashkin S. V., Mikhnev M. M., Ushakov A. R. *Ustroystvo imitatsii nevesomosti mekhanizmov s gibkoy konstruksiey elementov* [The device simulating weightlessness with Flexible design elements]. Patent RF, No. 233970 G61M19 C2/00 V64P7/00, 2008.
12. Goldobin N. N. [Methodology to evaluate the shape of the reflecting surface of bulky radio convertible reflector spacecraft]. *Vestnik SibGAU*. 2013, Vol. 1 (47), P. 106–111 (In Russ.).
13. Kovalev I. V., Badanina Ju. O. [Platform weight compensation system Automation component for bulky reflectors spacecraft]. *Vestnik SibGAU*. 2016, Vol. 17(1), P. 131–136 (In Russ.).
14. Debda D. E., Pyatibratov G. Y. *Problemy sozdaniya kombinirovannykh sistem kompensatsii sily tyazhesti ob'ektov obezveshivaniya* [Problems of creation of the combined compensation systems gravity of weightlessness objects]. Novocherkassk, SRSTU Publ., 2000, 32 p.
15. Poduraev Y. V. *Mekhatronika: osnovy, metody, primeneniye* [Mechatronics: fundamentals, methods, applications]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2007, 256 p.
16. *Platforma Mitsubishi Electric MELSEC System Q I ee komponenty* [Platform Mitsubishi Electric MELSEC System Q and its components]. Available at: [http // mitsubishielecric.ru](http://mitsubishielecric.ru) (accessed 03.02.2016).
17. Dorf R., Bishop R. *Sovremennye sistemy upravleniya* [Modern control systems]. Moscow, Laboratoriya bazovykh znaniy Publ., 2002, 832 p.
18. *Programmnoye obespecheniye GX IEC Developer iMKh OPC Server* [Software GX IEC Developer and MX OPC Server]. Available at: [http // mitsubishielecric.com](http://mitsubishielecric.com) (accessed 03.02.2016).
19. Romanov A. V., Testoedov N. A. *Osnovy proektirovaniya informatsionno-upravlyayushchikh i mekhanicheskikh sistem kosmicheskikh apparatov* [Basics of designing information control and mechanical systems of spacecraft]. Ed. V. D. Atamasova. St. Petersburg, LA ANO "Professional" Publ., 2015, 240 p.
20. Zimin V. N. et al. [The calculation of the disclosure of large space structures transformable]. *Reshetnevskie chteniya : materialy XVII Mezhdunar. nauch. konf.* [Reshetnev Readings: Materials XVII Internat. scientific. Conf.] (Nov 12–14. 2013, Krasnoyarsk). Krasnoyarsk, 2013, P. 68–69 (In Russ.).
21. *IEC 61131-3(2013): Mikrokontrollery programmiruemye. Chast' 3: Yazyki programmirovaniya* [IEC 61131-3 (2013): programmable microcontrollers. Part 3: Programming languages]. 2013, 224 p.
22. *IEC-61499(2005): Raspredelemnnyye system ypravleniya i avtomatizatsii* [IEC-61499 (2005) : The distributed control and automation systems]. 2005, 244 p.