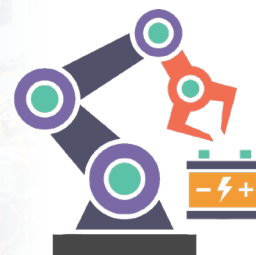


**Автоматика.
Энергетика.
ИКТ**



DOI 10.52209/1609-1825_2024_4_360

УДК 621.396:004.9

Унифицированная информационно-коммуникационная система обеспечения полета космических аппаратов

КУЦЕВ Максим Анатольевич, руководитель центра аппаратно-программного и метрологического обеспечения, maxim_kutsev@mail.ru, АО «Республиканский центр космической связи», ул. Кунаева, 14/3, Астана, Казахстан,

Аннотация. Описывается информационно-коммуникационная система обеспечения полета космических аппаратов. В системе OPC-сервера преобразуют параметры телеметрии космических аппаратов, передаваемые в виде кодовых значений тарифовочных характеристик в фактическое значение, преобразуют формат данных телеметрии и служебную информацию космических аппаратов и командно-измерительных станций в формат данных стандарта OPC, воспринимаемый SCADA. Также задействован и обратный канал – передачи и преобразования команд SCADA в формат данных команд управления командно-измерительных станций и космических аппаратов. Техническим результатом является повышение эффективности контроля и управления космическими аппаратами, улучшение масштабируемости системы.

Ключевые слова: унифицированная информационно-коммуникационная система, управление космическими аппаратами, SCADA-системы, OPC-сервер, телеметрия космических аппаратов, командно-измерительные станции (КИС), протоколы командных радиолиний, масштабируемость системы.

Введение

Абстрактно представляя служебную и телеметрическую информацию космического аппарата (КА) как информацию датчиков

технологического производства, а элементы космического аппарата как исполнительные механизмы (элементы) технологического производства, процесс контроля и управле-

ния космическими аппаратами можно воспринимать как замкнутый цикл управления технологическим процессом, для которого существует практически отработанная связка технологий SCADA-технологий и OPC-серверов [1-3].

В спутниковой системе [4] предусматривается применение аппаратно-программных решений, широко используемых в различных отраслях науки и техники, для обеспечения лучшей управляемости космическими аппаратами орбитальной группировки и скоростью передачи данных. В ней для сбора телеметрической информации о состоянии бортового оборудования космического аппарата, мониторинга бортового оборудования бортовым компьютером, формирования отчетов о состоянии бортового оборудования и формирования при необходимости управляющих воздействий используют программно-аппаратные средства автоматизированной системы управления и мониторинга реального времени в виде SCADA. Также SCADA используют для передачи управляющих воздействий, сформированных в центре управления полетом автоматически компьютером или заданных в ручном режиме оператором.

Однако в данной системе [1] невозможно применение SCADA для контроля космических аппаратов, использующих протокол командной радиолинии, в которой служебная и телеметрическая информация передается в формате данных, отличных от формата данных, воспринимаемых SCADA, или данных, передаваемых в виде кодовых значений тарифовочных характеристик параметров телеметрической информации космического аппарата [5]. Передача служебной информации и телеметрии космических аппаратов в формате данных, воспринимаемых SCADA, приводит к необходимости передавать параметры телеметрии и служебной информации в фактическом значении, что приводит к увеличению ширины полосы радиочастотного спектра командной радиолинии и снижению помехоустойчивости [6], либо к применению антенных систем командно-измерительных станций (КИС) с большей апертурой [7], что в свою очередь ведет к увеличению стоимости антенных систем.

Цель и задачи исследования

Целью исследования является создание унифицированной информационно-коммуникационной системы обеспечения полета космических аппаратов, позволяющей осуществлять контроль и управление ими с различными протоколами информационного обмена командной радиолинии, в которых некоторые параметры телеметрии кодиру-

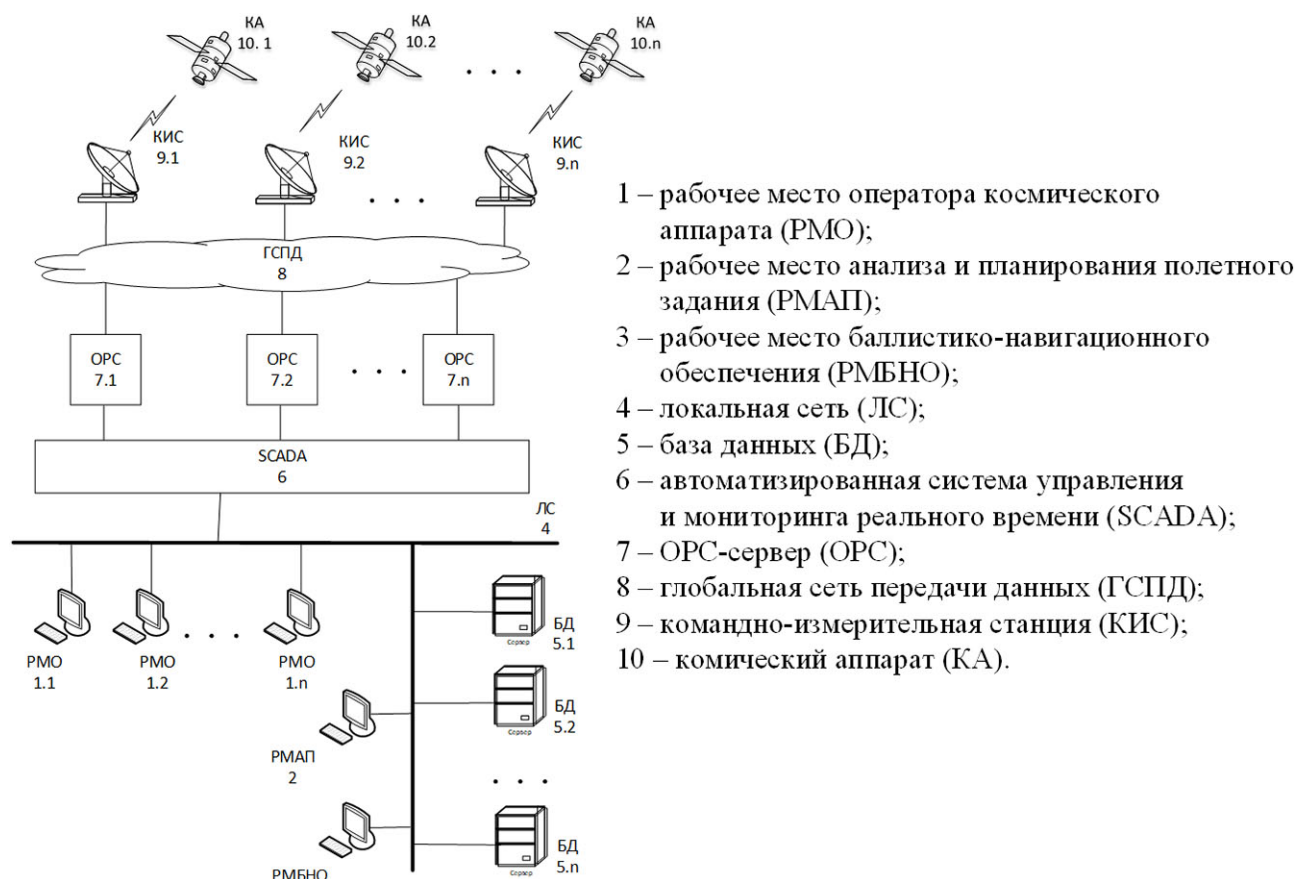
ются значениями тарифовочных характеристик.

В задачи исследования, помимо разработки структуры системы, включающей командно-измерительные станции и рабочие места операторов космических аппаратов, входит создание методологии и алгоритмов работы OPC-сервера. OPC-сервер должен преобразовывать параметры телеметрии космических аппаратов, передаваемые в виде кодовых значений тарифовочных характеристик, в фактическое значение, также должен преобразовывать формат данных телеметрии и служебную информацию космических аппаратов и командно-измерительных станций [7] в формат данных стандарта OPC [3], воспринимаемый SCADA. В свою очередь, команды SCADA должны быть преобразованы в формат данных команд управления командно-измерительных станций и космических аппаратов, производящих информационный обмен по протоколу TCP/IP через локальную сеть передачи данных и глобальную сеть передачи данных, с разделением потоков данных путем присвоения каждому потоку данных номера частного порта динамического диапазона стека TCP/IP.

Техническим результатом являются повышение эффективности контроля и управления космическими аппаратами, улучшение масштабируемости системы, применение технологий промышленной автоматизации для обеспечения информационного обмена SCADA с различными командно-измерительными станциями и космическими аппаратами. Заявленный результат достигается посредством применения технологии OPC-сервера, сочетающего в себе функции преобразования формата служебной и телеметрической информации космических аппаратов и командно-измерительных станций в формат данных стандарта OPC, воспринимаемых и обрабатываемых SCADA с приведением некоторых параметров телеметрии к тарифовочным характеристикам, и преобразования формата команд, выдаваемых SCADA, в формат данных, воспринимаемых командно-измерительными станциями, и командных радиолиний космических аппаратов.

Реализация

Предлагаемая унифицированная информационно-коммуникационная система обеспечения полета космических аппаратов представлена на рисунке 1. Взаимодействие с космическим аппаратом и командно-измерительной станцией осуществляется с рабочего места оператора (РМО). Для инициализации связки «SCADA-OPC-сервер» для



- 1 – рабочее место оператора космического аппарата (РМО);
- 2 – рабочее место анализа и планирования полетного задания (РМАП);
- 3 – рабочее место баллистико-навигационного обеспечения (РМБНО);
- 4 – локальная сеть (ЛС);
- 5 – база данных (БД);
- 6 – автоматизированная система управления и мониторинга реального времени (SCADA);
- 7 – OPC-сервер (ОПС);
- 8 – глобальная сеть передачи данных (ГСПД);
- 9 – командно-измерительная станция (КИС);
- 10 – космический аппарат (КА).

Рисунок 1 – Унифицированная информационно-коммуникационная система обеспечения полета космических аппаратов

работы с определенным космическим аппаратом в OPC-сервер передаются исходные данные телеметрии космического аппарата и протокол информационного обмена с КИС и КА [8], в SCADA передаются граничные значения допустимых параметров телеметрии, признаки функциональности контролируемых параметров телеметрии, признаки штатного и аварийных состояний узлов и систем КА [1].

Командные воздействия на оборудование КИС и КА при управлении и контроле КА инициируются оператором РМО в интерфейсе SCADA. Иницируемые команды управления КИС и КА, через SCADA поступают в OPC-сервер, где они преобразуются, в соответствии с протоколами информационного обмена и передаются на исполнение в КИС. Информация о состоянии оборудования КИС и результаты измерения баллистических характеристик КА поступают из КИС в OPC-сервер, где они преобразуются в соответствии с протоколом обмена в стандарт OPC и передаются в SCADA и базу данных. Телеметрия и служебная информация космического аппарата поступают через КИС в OPC-сервер,

где преобразуются в формат данных стандарта OPC, воспринимаемый SCADA, при необходимости параметры телеметрии приводятся к тарифовочным характеристикам и передаются в SCADA и базу данных. Служебная информация КА и значения параметров телеметрии космического аппарата в SCADA подвергаются допусковому контролю и контролируются оператором РМО в интерфейсе SCADA. Передача полетного задания на исполнение КА осуществляется SCADA через OPC-сервер и КИС.

На рабочем месте баллистико-навигационного обеспечения обрабатываются результаты измерений баллистических характеристик. Результаты расчетов и прогноз орбиты космического аппарата [9] заносятся в базу данных. Для обеспечения актуальности информации и обеспечения надежности системы осуществляется реплицирование информации между базами данных, входящих в систему, так и внешних баз данных.

Телеметрическая и служебная информация космического аппарата поступает от КИС в OPC-сервер через модуль телекоммуникационный М7 и модуль обмена с КИС

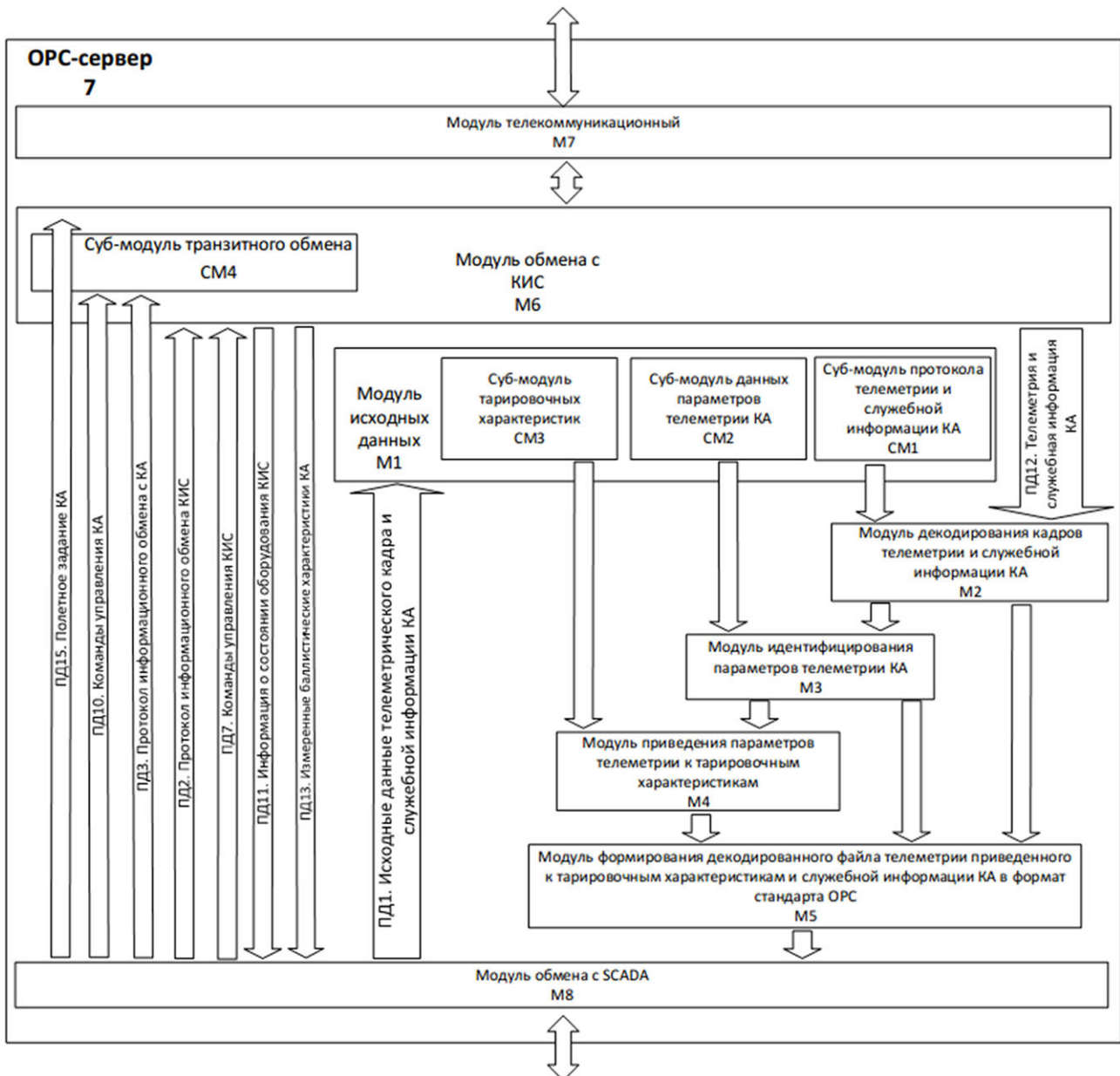


Рисунок 2 – Функциональная схема OPC-сервера унифицированной информационно-коммуникационной системы обеспечения полета космических аппаратов

М6 (рисунок 2). Для преобразования телеметрии и служебной информации космического аппарата в формат данных стандарта OPC, воспринимаемый SCADA, в OPC-сервер, в модуль исходных данных М1 из базы данных поступают исходные данные телеметрического кадра, содержащего описание протокола телеметрического кадра КА и служебной информации космического аппарата, распределяемые по submodule протокола телеметрии и служебной информации КА SM1, параметров телеметрии КА SM2, тарифовочных характеристик параметров телеметрии КА SM3. Телеметрическая и служебная информация КА поступает в

модуль декодирования кадров телеметрии и служебной информации М2, где значения телеметрического кадра и служебной информации декодируются, присваивается наименование параметра и его значение. Служебная информация КА, не требующая идентификации параметров и приведения к тарифовочным характеристикам, передается из модуля М2 в модуль формирования декодированного файла телеметрии, приведенного к тарифовочным характеристикам, и служебной информации КА в формат данных стандарта OPC, М5. Декодированные параметры телеметрии поступают в модуль идентификации параметров телеме-

трии КА МЗ, в котором на основании данных submodule CM2 определяется принадлежность параметра телеметрии к параметрам, требующим приведения к тарифовочной характеристике. Если параметр телеметрии не требует приведения к тарифовочной характеристике, он передается в модуль М5. Если параметр требует приведения к тарифовочной характеристике, он передается в модуль приведения к тарифовочным характеристикам М4. В модуле М4, на основании тарифовочных характеристик, передаваемых из submodule CM3, параметры телеметрии приводятся к тарифовочным характеристикам. Далее приведенный параметр телеметрии передается в модуль М5 для формирования в формат данных стандарта OPC и передачи в модуль обмена с SCADA М8. Для взаимодействия с КИС в OPC-сервере используется модуль обмена с КИС М6. Для возможности контроля и управления КИС в М6 из базы данных передается протокол информационного обмена КИС, в соответствии с которым осуществляется информационное взаимодействие SCADA и КИС. На основании протокола взаимодействия с КИС, OPC-сервер преобразует команды в формате данных стандарта OPC, получаемые от SCADA, в команды управления оборудованием КИС. Информация о текущем состоянии оборудования КИС и результаты баллистических измерений космического аппарата в модуле М6 преобразуются в формат данных стандарта OPC и через модуль обмена М8 передаются в SCADA. В submodule транзитного обмена CM4, в соответствии с протоколом информационного обмена КИС, команды управления КА преобразуются из формата данных стандарта OPC в формат данных протокола КИС и передаются для исполнения в КИС. Полетное задание КА передается транзитом, без преобразования. Модуль телекоммуникационный М7 обеспечивает информационное взаимодействие с телекоммуникационным оборудованием сетей связи, обеспечивающим информационное взаимодействие с КИС. Модуль обмена с SCADA обеспечивает информационный обмен с телекоммуникационным оборудованием информационного взаимодействия SCADA.

Результаты и обсуждение

Возможность OPC-сервера преобразовывать формат данных телеметрии и служебной информации КА и КИС в формат данных стандарта OPC, воспринимаемый и обрабатываемый SCADA и в обратном направлении, на основе различных протоколов взаимодействия и исходных данных позволяют без ограничений использовать заявляемую систему для контроля и управления КИС и космическими аппаратами различного назначения, с различными протоколами командных радиолиний.

Возможна масштабируемость системы. Это позволит осуществлять контроль и управление группой космических аппаратов с произвольным количеством и при различных соотношениях составляющих элементов системы.

Все элементы системы являются широко известными из уровня техники. В качестве SCADA возможно применение любого существующего программно-аппаратного средства автоматизированной системы управления и мониторинга реального времени SCADA, отвечающего требованиям надежности и функциональности, с подтвержденной надежностью и отказоустойчивостью, воспринимающего и формирующего данные в формате стандарта OPC.

Заключение

Предложенная унифицированная информационно-коммуникационная система обеспечения полета космических аппаратов демонстрирует значительное улучшение в управлении и мониторинге космических аппаратов. Система, основанная на интеграции SCADA и OPC-серверов, обеспечивает преобразование форматов данных телеметрии и служебной информации в стандарты, воспринимаемые SCADA, что позволяет эффективно контролировать и управлять космическими аппаратами. Применение данной системы способствует повышению масштабируемости и надежности. Внедрение этой системы открывает новые возможности для автоматизации и оптимизации технологических процессов в управлении космическими аппаратами, что в конечном итоге улучшает их эксплуатационные характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фортескью П., Старка Дж., Суинерда Г. Разработка систем космических аппаратов. – Москва: Изд-во «Альпина паблишер», 2018. – 764 с.
2. Интегрированные системы проектирования и управления: SCADA-системы: учебное пособие / И.А. Елизаров, А.А. Третьяков, А.Н. Пчелинцев и др. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 160 с.
3. Marcel Nicola, Claudiu-Ionel Nicola, Marian Duță, Dumitru Sacerdotianu. SCADA Systems Architecture Based on OPC and Web Servers and Integration of Applications for Industrial Process Control. International Journal of Control Science and Engineering 2018, 8(1), pp. 13-21.
4. Пат. 2690966 Российская Федерация, МПК В64G1/10, В64G3/00. Спутниковая система, управляемая по межспутниковой радиолинии / Пантелеймонов И.Н.; патентообладатель АО «Российские космические системы». – № 2018125659; заявл. 12.07.2018; опубл. 07.06.2019. Бюл. № 16.
5. Григорьев А.П., Любимов А.В., Бурлуцкий Г. Бортовые телеметрические системы изделий ракетно-космической техники / Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии, Пятая Международная научная конференция. Часть 2. Сборник докладов. Санкт-Петербург, Россия, 2024. – 352 с.
6. Козинев И.А., Куликов В.С., Святкин С.Н. Оценка эффективности функционирования систем и средств управления космическими аппаратами в условиях радиопомех / 76-я Научно-техническая конференция Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню радио / Секция 4. «Системы передачи информации»: сб. докладов СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – Санкт-Петербург, 2021. – 168 с.
7. Медведев А.А., Меньшиков В.А., Иванов В.Л. Основы построения и эксплуатации космической системы связи и вещания. Книга 1. Базовый теоретический курс. М.: Изд-во ИПЦ СИП РИА, 2005. – 598 с.
8. Дымов Д.В., Ценникова Н.П. Структура телеметрического сообщения современных космических аппаратов // Решетневские чтения: Материалы XVI Международной научной конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева (7-9 ноября 2012, г. Красноярск). В 2-х частях. Часть 1. Красноярск, 2012. – 458 с.
9. Медведев А.А., Меньшиков В.А., Иванов В.Л. Основы построения и эксплуатации космической системы связи и вещания. Книга 2. Специальный теоретический курс. М.: Изд-во ИПЦ СИП РИА, 2005. – 643 с.

Ғарыш аппараттарының ұшуын қамтамасыз етудің бірыңғай ақпараттық-коммуникациялық жүйесі

КУЦЕВ Максим Анатольевич, аппараттық-бағдарламалық және метрологиялық қамтамасыз ету орталығының басшысы, maxim_kutsev@mail.ru, «Республикалық ғарыштық байланыс орталығы» АҚ, Қонаев көшесі, 14/3, Астана, Қазақстан,

Аңдатпа. Ғарыш аппараттарының ұшуын қамтамасыз етуге арналған ақпараттық-коммуникациялық жүйе сипатталған. Бұл жүйеде OPC серверлері ғарыш аппараттарының телеметрия параметрлерін кодталған калибрлік мәндер түрінде беріп, оларды нақты мәнге айналдырады, телеметрия деректерінің пішімін және ғарыш аппараттары мен командалық-өлшеу станцияларының қызметтік ақпаратын SCADA қабылдайтын OPC деректер стандарт пішіміне түрлендіреді. Сондай-ақ, SCADA командаларын командалық-өлшеу станциялары мен ғарыш аппараттарын басқару командаларының деректер пішіміне түрлендіріп, кері байланыс арнасы қолданылады. Техникалық нәтиже ретінде ғарыш аппараттарын басқару және бақылау тиімділігін арттыру, жүйенің масштабталуын жақсарту көрсетілген.

Кілт сөздер: бірыңғай ақпараттық-коммуникациялық жүйе, ғарыш аппараттарын басқару, SCADA жүйелері, OPC сервері, ғарыш аппараттарының телеметриясы, командалық-өлшеу станциялары (КОС), командалық радиожелі протоколдары, жүйенің масштабталуы.

Unified Information and Communication System for Spacecraft Flight Support

KUTSEV Maxim, Head of the Center for Hardware, Software and Metrological Support, maxim_kutsev@mail.ru, JSC «Republican Center for Space Communication», Kunayev Street, 14/3, Astana, Kazakhstan,

Abstract. The information and communication system for spacecraft flight support is described. In this system, OPC servers convert spacecraft telemetry parameters, transmitted as coded calibration values, into actual values, transforming the telemetry data format and the service information of spacecraft and command and measurement stations into the OPC data standard format, which is recognized by SCADA. The system also includes a reverse channel for transmitting and converting SCADA commands into the data format of control commands for command and measurement stations and spacecraft. The technical result is an increase in the efficiency of spacecraft control and management, as well as improved system scalability.

Keywords: unified information and communication system, spacecraft management, SCADA systems, OPC server, spacecraft telemetry, command and measurement stations (CMS), command radio line protocols, system scalability.

REFERENCES

1. Fortesk'yu P., Starka Dzh., Suinerda G. Razrabotka sistem kosmicheskikh apparatov. – Moscow: Publ. «Al'pina publisher», 2018. – 764 p.
2. Integrirovannye sistemy proektirovaniya i upravleniya: SCADA-sistemy: uchebnoe posobie / I.A. Elizarov, A.A. Tret'yakov, A.N. Pchelincev i dr. – Tambov: Publ. FGBOU VPO «TGTU», 2015. – 160 p.
3. Marcel Nicola, Claudiu-Ionel Nicola, Marian Duță, Dumitru Sacerdoțianu. SCADA Systems Architecture Based on OPC and Web Servers and Integration of Applications for Industrial Process Control. International Journal of Control Science and Engineering 2018, 8(1), pp. 13-21.
4. Pat. 2690966 Rossijskaya Federaciya, MPK B64G1/10, B64G3/00. Sputnikovaya sistema, upravlyaemaya po mezhsputnikovoj radiolinii / Pantelejmonov I.N.; patentoobladatel' AO «Rossijskie kosmicheskie sistemy». – No. 2018125659; zayavl. 12.07.2018; opubl. 07.06.2019. Byul. No. 16.
5. Grigor'ev A.P., Lyubimov A.V., Burluckij G. Bortovye telemetricheskie sistemy izdelij raketno-kosmicheskoy tekhniki / Aerokosmicheskoe priborostroenie i ekspluatacionnye tekhnologii, Pyataya Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya. CHast' 2. Sbornik dokladov. Saint Petersburg, Rossiya, 2024. – 352 p.
6. Kozinov I.A., Kulikov V.S., Svyatkin S.N. Ocenka effektivnosti funkcionirovaniya sistem i sredstv upravleniya kosmicheskimi apparatami v usloviyah radiopomekh / 76-ya Nauchno-tekhnicheskaya konferenciya Sankt-Peterburgskogo NTO RES im. A.S. Popova, posvyashchennaya Dnyu radio / Sekciya 4. «Sistemy peredachi informacii»: sb. dokladov SPbGETU «LETI». – Saint Petersburg, 2021. – 168 p.
7. Medvedev A.A., Men'shikov V.A., Ivanov V.L. Osnovy postroeniya i ekspluatatsii kosmicheskoy sistemy svyazi i veshchaniya. Kniga 1. Bazovyj teoreticheskij kurs. Moscow: Publ. IPC SIP RIA, 2005. – 598 p.
8. Dymov D.V., Cennikova N.P. Struktura telemetricheskogo soobshcheniya sovremennykh kosmicheskikh apparatov // Reshetnevskie chteniya: Materialy XVI Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchennoj pamyati general'nogo konstruktora raketno-kosmicheskikh sistem akademika M.F. Reshetneva (7-9 noyabrya 2012, g. Krasnoyarsk). V 2-h chastyah. CHast' 1. Krasnoyarsk, 2012. – 458 p.
9. Medvedev A.A., Men'shikov V.A., Ivanov V.L. Osnovy postroeniya i ekspluatatsii kosmicheskoy sistemy svyazi i veshchaniya. Kniga 2. Special'nyj teoreticheskij kurs. Moscow: Publ. IPC SIP RIA, 2005. – 643 p.