

Унификация управления космическими аппаратами с помощью SCADA и OPC UA

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. Статья посвящена разработке унифицированной автоматизированной системы управления космическими аппаратами «KazSat-2» и «KazSat-3» на основе стандартов OPC UA и SCADA-систем. В работе рассматриваются существующие проблемы, связанные с разными подходами к построению аппаратно-программных комплексов управления. Это приводит к увеличению нагрузки на операторов и риску ошибочных действий. Предлагается решение, включающее использование SCADA-программ и OPC-серверов для унификации процессов управления и обработки телеметрии, осуществления допускового контроля, выдачи командных воздействий. Описан пилотный проект, демонстрирующий преимущества внедрения данных технологий, такие как повышение надёжности систем, упрощение технического обслуживания и модернизации, а также снижение эксплуатационных издержек. Статья обосновывает перспективность предложенной системы для улучшения текущей эксплуатации и создания фундамента для будущих модернизаций.

Ключевые слова: унифицированная автоматизированная система, управление космическими аппаратами, SCADA-системы, OPC-сервер, телеметрия космических аппаратов, командно-измерительные станции, унифицированные потоки данных, масштабируемость, KazSat-2, KazSat-3.

Введение

Современные космические аппараты играют ключевую роль в обеспечении связи, телевидения и других видов коммуникаций. АО «Республиканский центр космической

связи» (РЦКС) эксплуатирует два космических аппарата связи и вещания «KazSat-2» и «KazSat-3», разработанные АО «Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева» и АО

«Информационные спутниковые системы им. Решетнева» соответственно. Каждый из производителей космических аппаратов предоставляет собственный аппаратно-программный комплекс (АПК) контроля и управления космическими аппаратами, не совместимыми друг с другом. Одновременное использование не совместимых друг с другом комплексов создаёт ряд проблем и вызовов.

Одной из основных проблем является различие подходов в построении интерфейсов пользователя и последовательности операций (логикой действий) при обработке телеметрической информации и управления космическими аппаратами. Это приводит к увеличению нагрузки на операторов при начальном обучении управлению космическими аппаратами и увеличивает риск ошибочных действий при парировании нештатных ситуаций. Техническая поддержка после окончания гарантийных обязательств также представляет собой значительную проблему, особенно когда замена оборудования сопряжена с обновлением программного обеспечения (операционные системы, драйверы устройств, стандарты безопасности). Эти трудности существенно увеличивают издержки и снижают эффективность эксплуатации космических аппаратов.

Целью данного исследования является разработка унифицированной автоматизированной системы управления космическими аппаратами на основе стандартов OPC UA и SCADA-систем. Такое решение позволит интегрировать различные подсистемы управления и телеметрии в единую платформу, что обеспечит повышение надёжности и безопасности управления, а также упростит техническое обслуживание и модернизацию систем.

Для достижения поставленной цели предлагается внедрение SCADA-программ и OPC-серверов, что позволит унифицировать процессы управления и обработки данных с космическими аппаратами. Использование данных технологий также обеспечит гибкость в замене оборудования и модернизации систем без значительных затрат и усилий. Это исследование охватывает как теоретические аспекты внедрения данных технологий, так и практическую реализацию пилотного проекта на базе существующих космических аппаратов.

Описание проблемных вопросов

Для контроля и управления космическими аппаратами «KazSat-2» и «KazSat-3» используется два АПК, отличающиеся друг от друга как аппаратно-программным обеспечением, так и различием в идеологии построения программных комплексов обработки телеметрической информации космических ап-

паратов (КА) и наземной инфраструктуры. Это связано с тем, что создание и ввод в эксплуатацию космических аппаратов осуществлялись в разные периоды времени по разным контрактам, разными изготовителями. Из-за различного подхода в построении АПК управления КА в центре космической связи (ЦКС) «Акколь» и ЦКС «Коктерек» фактически используется два центра управления полетами (ЦУП). Территориально ЦУП «KazSat-2» и ЦУП «KazSat-3» расположены в одном помещении ЦКС «Акколь».

Также определенные сложности вызывает техническая эксплуатация комплексов управления после окончания сроков гарантийных обязательств поставщика. Так, например, выработка технического ресурса рабочих станций и серверов вследствие продолжительной работы влечет необходимость замены на рабочие станции и серверы, актуальные на момент применения (замены). Зачастую актуальные рабочие станции и серверы требуют применения современных операционных систем и иного сопутствующего программного обеспечения. Современные компонентная база и операционные системы могут быть не совместимы со специальным программным обеспечением контроля и управления космическими аппаратами. Это влечет за собой необходимость доработки программного обеспечения и изменения в конструкторской документации АПК. Так как конструкторская документация и исходные коды АПК являются не подлежащими распространению [1], РЦКС вынужден обращаться за доработкой АПК непосредственно к изготовителю. В свою очередь монопольное положение разработчика АПК позволяет ему диктовать любые ценовые условия для доработки, а в случае геополитических проблем доработка АПК может представляться невозможной.

Таким образом, в части наземных комплексов контроля и управления космическими аппаратами наметился ряд проблемных вопросов:

1. Два разных программных аппаратно-программных комплекса для обработки и анализа телеметрии космических аппаратов «KazSat-2» и «KazSat-3». Это приводит к увеличению нагрузки на оператора при начальном получении навыков при управлении космическими аппаратами.

2. Одновременная работа на различных программных комплексах может привести к ошибке оператора при психоэмоциональном напряжении в случае работ по парированию нештатных ситуаций.

3. Риск прекращения технической поддержки аппаратно-программных комплексов после окончания срока гарантийных обяза-

тельств поставщика (в случае осложнения геополитической ситуации) и, как следствие, – невозможность устранения каких-либо ошибок в работе программных комплексов.

4. Отсутствие возможности замены какого-либо оборудования без доработки программного обеспечения, что в свою очередь вынуждает РЦКС обращаться к владельцу исходного кода и нести сложно прогнозируемые денежные затраты.

Варианты построения системы управления космическим аппаратом

Чтобы избежать проблемных вопросов предлагаются к рассмотрению варианты разработки иной концепции построения программных комплексов ЦУП на основе широко распространенных технологий. Одними из таких технологий являются программы семейства SCADA и OPC-серверы.

В пилотном проекте применяется SCADA-программа MasterSCADA фирмы IN-CAT [2]. SCADA-системы решают следующие задачи:

- обмен данными с «устройствами связи с объектом» (то есть промышленными контроллерами и платами ввода-вывода) в реальном времени через программные драйверы;
- обработка информации в реальном времени;
- логическое управление;
- отображение информации на экране монитора в удобной и понятной для человека форме;
- ведение базы данных реального времени с технологической информацией;
- аварийная сигнализация и управление тревожными сообщениями;
- подготовка и генерирование отчетов о ходе технологического процесса;
- осуществление сетевого взаимодействия между SCADA ПК;
- обеспечение связи с внешними приложениями (СУБД, электронные таблицы, текстовые процессоры и т.д.);
- SCADA-системы позволяют разрабатывать АСУ ТП в клиент-серверной или в распределённой архитектуре.

Основная задача SCADA-программы – это сбор информации о состоянии датчиков какого-либо оборудования, первичная обработка, допусковый контроль, визуальное представление информации и управление оборудованием. Немаловажной функцией SCADA является возможность создания алгоритмов управления оборудованием при возникновении каких-либо условий по информации от датчиков или по команде оператора [3]. Тем самым в части функционального назначения SCADA не отличается от программных комплексов по управлению

космическими аппаратами.

Таким образом, если представить космический аппарат в виде абстрактного производства, с непрерывно длящимся производственным циклом [4], то применение SCADA для целей управления космическим аппаратом представляется вполне допустимым. Одной из возможностей SCADA является возможность управления двумя и более технологическими процессами из одной программы SCADA, что позволяет реализовать в одной SCADA управление двумя и более космическими аппаратами. Соответственно для управления двумя космическими аппаратами возможно применение двух SCADA-программ, функционирующих на отдельных аппаратных мощностях, либо объединение управления и контроля двух космических аппаратов в одной SCADA-программе.

Применяя SCADA-программу, можно закрыть первые три проблемных вопроса:

1. При использовании одинаковых SCADA-программ для управления двумя разными космическими аппаратами снижается нагрузка на оператора в части изучения функционирования программы управления космическим аппаратом.

2. Так как программные комплексы идентичны, то одни и те же операции с космическим аппаратом будут выполняться в одной и той же последовательности, что снижает риск ошибки оператора при работе на разных комплексах.

3. SCADA-программы имеют унифицированные интерфейсы ввода-вывода информации и похожие человеко-машинные интерфейсы отображения и управления процессом. В случае прекращения технической поддержки разработчика SCADA, в случае обнаружения неисправимой ошибки или в иных случаях, препятствующих дальнейшей эксплуатации SCADA-программы возможен безболезненный переход на SCADA-программу другого разработчика без какой-либо потери в функционале управления космическим аппаратом.

Однако прямая замена существующих программных комплексов по управлению КА «KazSat-2» и «KazSat-3» на SCADA-программу невозможна по причине отличия унифицированных потоков данных SCADA от существующих в ЦУП КА «KazSat-2» и «KazSat-3» потоков информационного обмена между ЦУП и Командно-измерительной станцией (КИС).

Так, например, в едином потоке данных от КИС «KazSat-2» передается не только телеметрия с КА, но и информация о состоянии оборудования КИС, информация об измерениях дальности и угловых координат КА относительно антенной системы КИС, ме-

теоретические параметры от метеостанции, квитирование команд, выданных на КА и пр. [5]. В отличие от КИС «KazSat-2», КИС «KazSat-3» построена по другому принципу. Непосредственно управление КИС осуществляется отдельным, не входящим в состав ЦУП «KazSat-3» программным комплексом мониторинга и контроля (М&С) [6], с которого также передается информация об угловых координатах КА относительно антенной системы КИС, и управление этим комплексом выведено на отдельное рабочее место оператора, а результаты измерения дальности, получение телеметрии и данные взаимодействия с КА осуществляются отдельным блоком обработки сигналов Cortex [7].

Для обеспечения информационного обмена SCADA-программы с КИС «KazSat-2» и КИС «KazSat-3» и другим оборудованием предлагается применить OPC-сервер, разработанный специалистами РЦКС.

OPC-серверная технология

OPC-сервер – программа, получающая данные во внутреннем формате КИС и преобразующая эти данные в формат OPC. OPC-сервер является источником данных для OPC-клиентов. По своей сути OPC-сервер – это некий универсальный драйвер физического оборудования, обеспечивающий взаимодействие с любым OPC-клиентом [8].

Количество одновременно работающих серверов с одной SCADA-программой ограничивается только производительностью компьютера или сервера, на котором функционирует SCADA-программа.

Для обеспечения информационного обмена между SCADA-программой и КИС необходимо использование либо отдельно OPC-сервер для каждого оборудования или устройства, входящего в состав КИС, либо один OPC-сервер, в котором осуществляется преобразование информационного потока от КИС в информационный поток, понятный SCADA-программе.

Таким образом, применяя OPC-технологии можно закрыть последний проблемный вопрос:

4. Отсутствие возможности замены какого-либо оборудования в АПК без изменения программы управления АПК. При замене оборудования АПК на оборудование другого производителя достаточно заменить (доработать) OPC-сервер или внести изменение в протокол информационного обмена группового OPC-сервера, что при наличии исходных кодов не представляется проблемным вопросом.

Возможные конфигурации автоматизированной системы управления космическими аппаратами

Вариант схемы ЦУП на базе SCADA-про-

граммы и OPC-сервера для управления одним КА приведен на рисунке 1. Схема включает командно-измерительную станцию, которая принимает телеметрию с КА и передает ее через OPC-сервер в SCADA. Директивы ЦУП-КИС передаются обратно на КА, обеспечивая двустороннюю связь. Система также включает метеопараметры, анализ и расчет полетного задания, а также рабочие места операторов КА.

Преимущества такой конфигурации – простота реализации и управления для одного КА, лёгкость в конфигурации и обслуживании системы. Недостатком является ограниченная масштабируемость. В случае увеличения числа КА требуется установка дополнительных серверов и оборудования, что увеличивает затраты.

Вариант схемы ЦУП на базе SCADA-программы и двух OPC-серверов для управления 2-х КА приведен на рисунке 2. Этот рисунок отображает расширенную схему ЦУП для управления двумя КА, использующими два отдельных OPC-сервера. Система включает две командно-измерительные станции, каждая из которых обслуживает свой КА и передает телеметрию через свой OPC-сервер в SCADA. Вся информация хранится в двух независимых базах данных. В остальном архитектура аналогична рисунку 1, включая обработку телеметрии, анализ и расчет полетного задания, а также рабочие места операторов.

Преимущества конфигурации – независимость управления для каждого КА, что может улучшить надёжность и устойчивость системы, а также лёгкость в управлении каждой КА отдельно. Недостатком являются повышенные затраты на оборудование и обслуживание, сложности в координации и мониторинге работы сразу нескольких КА, увеличенная нагрузка при администрировании баз данных.

Вариант схемы ЦУП на базе SCADA-программы и одного OPC-сервера для управления 2-х КА приведен на рисунке 3. На данном рисунке представлена упрощенная схема ЦУП для управления двумя КА с использованием одного OPC-сервера. Две командно-измерительные станции передают телеметрию с обоих КА через единый OPC-сервер в SCADA, используя одну базу данных. Эта конфигурация облегчает управление и мониторинг двух аппаратов, сохраняя при этом все функции, такие как анализ и расчет полетного задания, метеопараметры и рабочие места операторов.

Преимущества конфигурации – снижение затрат на оборудование и техническую поддержку благодаря унификации системы управления; упрощенная конфигурация и

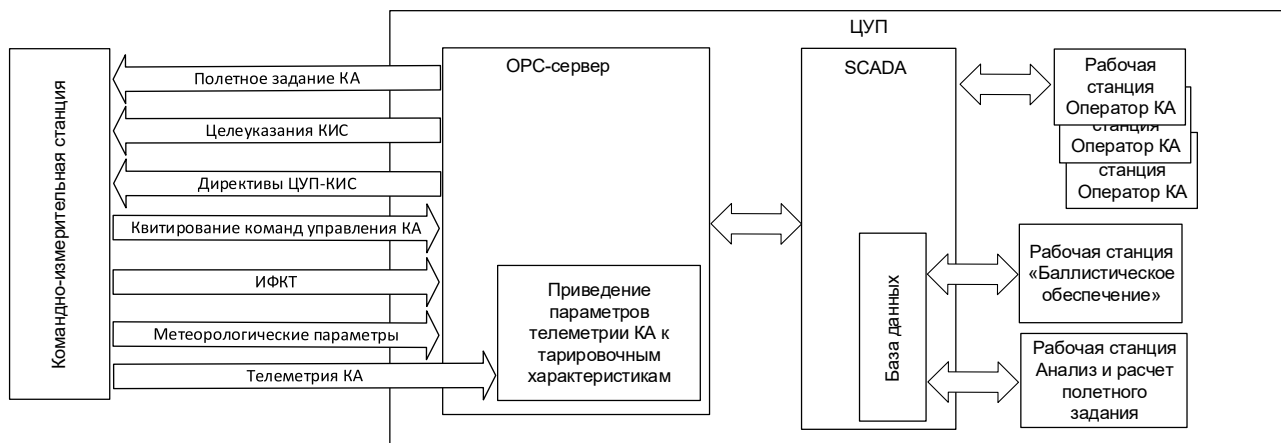


Рисунок 1 – Схема ЦУП на базе SCADA-программы и OPC-сервера для управления 1 КА

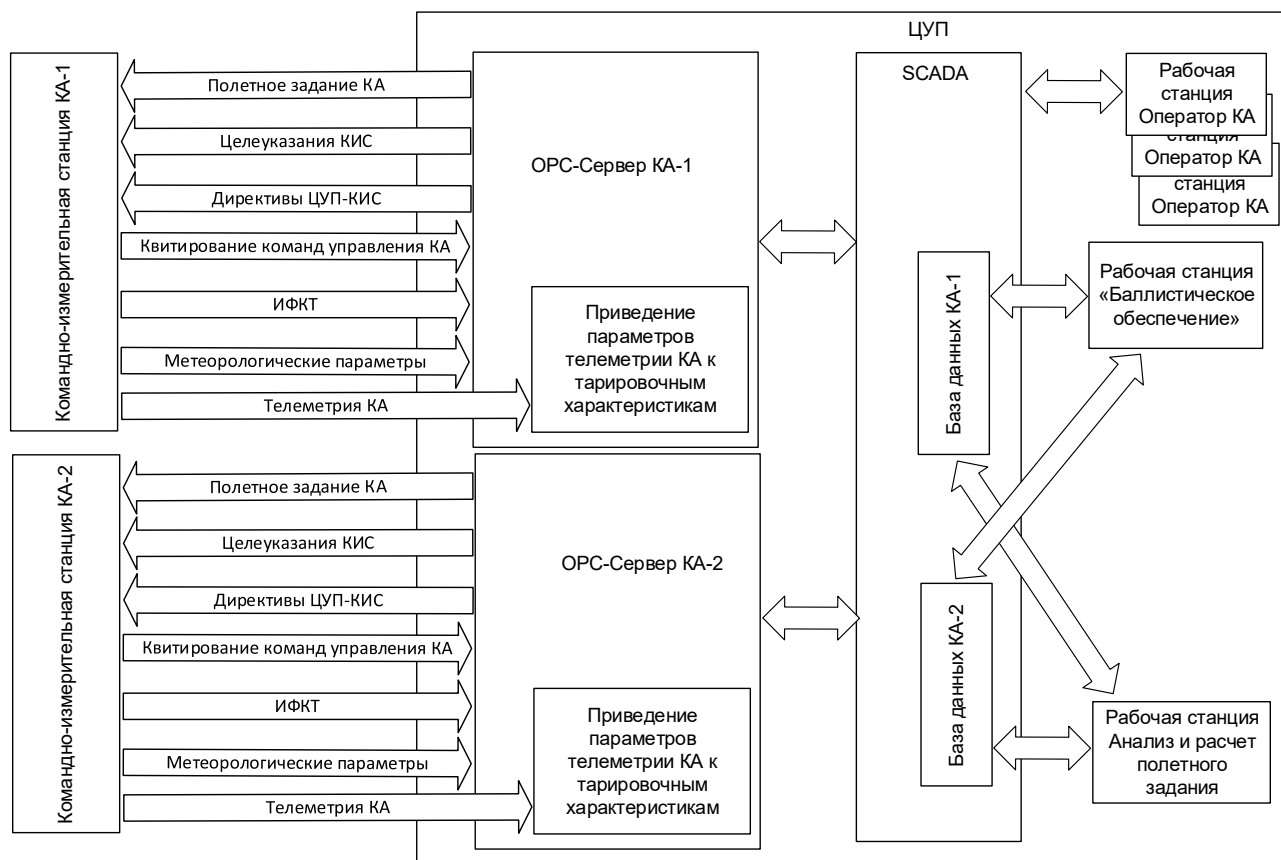


Рисунок 2 – Схема ЦУП на базе SCADA-программы и двух OPC-серверов для управления 2-мя КА

мониторинг нескольких КА в единой системе; снижение нагрузки на операторов и возможность централизованного управления, простота администрирования баз данных. Недостатком является увеличение нагрузки на сервер, что требует обеспечения его высокой надёжности и производительности.

Сравнительный анализ этих систем показывает, что переход к унифицированной системе управления с использованием одного OPC-сервера для нескольких КА (как показано на рисунке 3) представляется наиболее оптимальным решением с точки зрения экономии средств и упрощения управления.

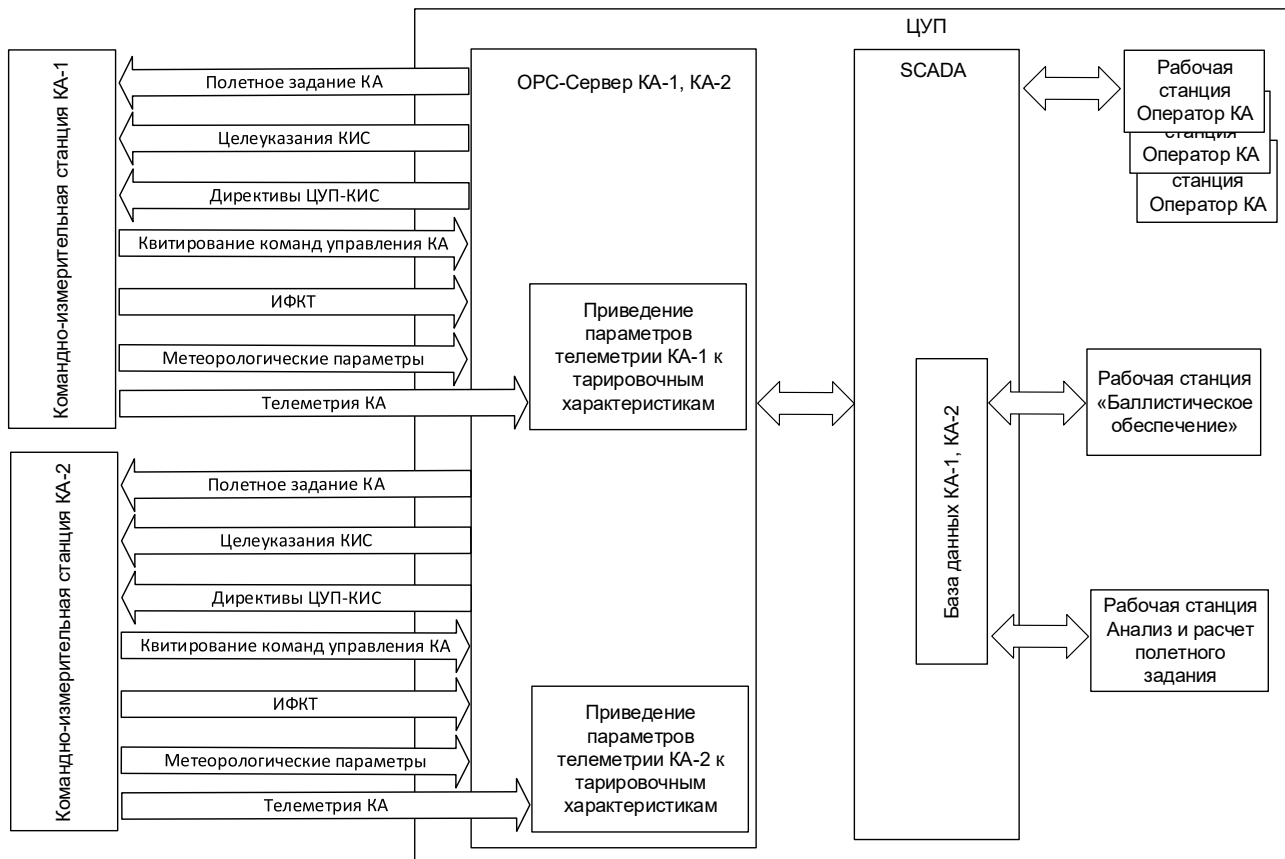


Рисунок 3 – Схема ЦУП на базе SCADA-программы и одного OPC-сервера для управления 2-мя КА

Этот подход обеспечивает эффективное использование ресурсов, сокращает количество ошибок и упрощает техническое обслуживание и модернизацию системы. Однако при этом требуется обеспечение высокой надёжности и отказоустойчивости центрального сервера, чтобы избежать рисков, связанных с отказом одного элемента системы.

Необходимые ресурсы для реализации проекта

Разработан пилотный вариант OPC-сервера с ограниченной функциональностью, позволяющий частично получать и отображать телеметрию с КА «KazSat-3». Он не является полноценным инструментом для взаимодействия с КА «KazSat-3». Для продолжения работ требуется получение от разработчиков космических аппаратов содержания файлов телеметрических кадров, описание протоколов взаимодействия между программными комплексами ЦУП и КИС, тарифовочные характеристики параметров телеметрии.

Заключение

Реализация предложенной системы управления на основе SCADA и OPC UA технологий представляется перспективным на-

правлением для решения текущих проблем в эксплуатации космических аппаратов. Унификация и стандартизация процессов управления и обработки данных способствует снижению нагрузки на операторов, уменьшает риск ошибок и увеличивает общую надёжность систем. Внедрение данных технологий также облегчает техническое обслуживание и модернизацию, что в конечном итоге снижает эксплуатационные издержки.

Пилотный проект, описанный в данной статье, демонстрирует жизнеспособность и преимущества предлагаемой системы. В частности, унификация интерфейсов и протоколов обмена данными значительно упрощает процесс обучения операторов и уменьшает количество возможных ошибок при эксплуатации космических аппаратов. Использование SCADA-системы позволяет централизованно управлять несколькими аппаратами, что упрощает контроль и мониторинг их состояния.

Внедрение OPC-серверов как связующего звена между различными компонентами системы также обеспечивает гибкость и масштабируемость решения. Это особенно важ-

но в условиях постоянного развития технологий и необходимости адаптации к новым требованиям. В случае отказа от использования одного оборудования или ПО возможна лёгкая замена на альтернативные решения без необходимости полной перестройки всей системы.

Таким образом, предложенные решения

представляют собой значительный шаг вперёд в области автоматизированного управления космическими аппаратами. Они обеспечивают не только текущее улучшение в эксплуатации, но и создают фундамент для будущих модернизаций и расширений системы, делая её более устойчивой и эффективной в долгосрочной перспективе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 16 июля 2022г. №1288 об утверждении списка оборудования, материалов и технологий, которые могут быть использованы при создании ракетного оружия и в отношении которых установлен экспортный контроль. – 52 с.
2. MasterSCADA 4D. URL: <https://masterscada.ru/masterscada4d> (дата обращения: 02.11.2024).
3. 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.
4. ISO 15531-1:2004 "Industrial automation systems and integration – Industrial manufacturing management data – Part 1: General overview / Технический комитет: ISO/TC 184/SC 4 ICS: 25.040.40.
5. Медведев А.А., Меньшиков В.А., Иванов В.Л. Основы построения и эксплуатации космической системы связи и вещания. Кн. 1. Базовый теоретический курс. – М.: ИПЦ СИП РИА, 2005. – 598 с.
6. Фортескую П., Старка Дж., Суинерда Г. Разработка систем космических аппаратов. – М.: Альпина Паблишер, 2018. – 764 с.
7. Command ranging & telemetry unit CORTEX CRT, QUANTUM users manual, DTU 100042, Is.Rev 5.17. Safran Data Systems, 346 с.
8. Nicola M., Nicola C.-I., Duță M., Sacerdoțianu D. 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. Vol. 8, №1. pp. 13-21.

SCADA және OPC UA көмегімен ғарыш аппараттарың басқаруды унификациялау

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. Мақала OPC UA және SCADA-жүйелерінің стандарттары негізінде «KazSat-2» және «KazSat-3» ғарыш аппараттарын басқарудың бірыңғай автоматтандырылған жүйесін әзірлеуге арналған. Жұмыста аппараттық және бағдарламалық басқару кешендерін құрудың әртүрлі тәсілдерімен байланысты проблемалар қарастырылады. Бұл операторларға жүктеменің артуына және қате әрекеттер қаупіне әкеледі. Телеметрияны басқару және өңдеу процестерін біріздендіру, рұқсатты бақылауды жүзеге асыру, командалық әсерлерді беру үшін SCADA бағдарламалары мен OPC серверлерін пайдалануды қамтитын шешім ұсынылады. Осы технологияларды енгізудің артықшылықтарын көрсететін пилоттық жоба сипатталған. Жүйелердің сенімділігін арттыру, техникалық қызмет көрсету мен жаңартуды жеңілдету және пайдалану шығындарын азайту сияқты. Мақала ағымдағы пайдалануды жақсарту және болашақ жаңартулар үшін іргетас құру үшін ұсынылған жүйенің болашағын негіздейді.

Кілт сөздер: бірыңғай автоматтандырылған жүйе, ғарыш аппараттарын басқару, SCADA-жүйелер, OPC-сервер, ғарыш аппараттарының телеметриясы, командалық-өлшеу станциялары, бірыңғай деректер ағындары, масштабталу мүмкіндігі, KazSat-2, KazSat-3.

Unification of Spacecraft Control Using SCADA and OPC UA

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 article is devoted to the development of a unified automated control system for the KazSat-2 and KazSat-3 spacecraft based on OPC UA and SCADA system standards. The paper examines the existing problems associated with different approaches to the construction of hardware and software management systems. This leads to an increased burden on operators and the risk of erroneous actions. A solution is proposed that includes the use of SCADA programs and OPC servers to unify the management and processing of telemetry, the implementation of access control, and the issuance of command actions. A pilot project demonstrating the advantages of implementing these technologies is described. Such as improving system reliability, simplifying maintenance and upgrades, and reducing operating costs. The article substantiates the prospects of the proposed system for improving current operation and creating the foundation for future upgrades.

Keywords: unified automated system, spacecraft control, SCADA systems, OPC server, spacecraft telemetry, command and measurement stations, unified data flows, scalability, KazSat-2, KazSat-3.

REFERENCES

1. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 16 iyulya 2022 g. №1288 ob utverzhdenii spiska oborudovaniya, materialov i tekhnologii, kotorye mogut byt' ispol'zovany pri sozdanii raketnogo oruzhiya i v otnoshenii kotorykh ustanovlen eksportnyi kontrol'. – 52 s.
2. MasterSCADA 4D. URL: <https://masterscada.ru/masterscada4d> (data obrashcheniya: 02.11.2024).
3. Integrirvannyye sistemy proektirovaniya i upravleniya: SCADA-sistemy: uchebnoe posobie / I.A. Elizarov, A.A. Tretyakov, A.N. Pchelintsev i dr. – Tambov: Izd-vo FGBOU VPO "TGTU", 2015. – 160 s.
4. ISO 15531-1:2004 "Industrial automation systems and integration – Industrial manufacturing management data – Part 1: General overview / Tekhnicheskii komitet: ISO/TC 184/SC 4 ICS: 25.040.40.
5. Medvedev A.A., Men'shikov V.A., Ivanov V.L. Osnovy postroeniya i ekspluatatsii kosmicheskoi sistemy svyazi i veshchaniya. Kn. 1. Bazovyi teoreticheskii kurs. – Moscow: IPC SIP RIA, 2005. – 598 s.
6. Fortesk'yu P., Starka Dzh., Suinerda G. Razrabotka sistem kosmicheskikh apparatov. – Moscow: Alpina Publisher, 2018. – 764 s.
7. Command ranging & telemetry unit CORTEX CRT, QUANTUM users manual, DTU 100042, Is.Rev 5.17. Safran Data Systems, 346 s.
8. Nicola M., Nicola C.-I., Duță M., Sacerdotianu D. 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. Vol. 8, №1. pp. 13-21.