

Анализ путей повышения эффективности управления космическими аппаратами различного целевого назначения за счет унификации и интеграции средств управления полетом

© М.М. Матюшин, А.Ю. Кутоманов, А.А. Иванов, В.В. Котеля

АО «ЦНИИмаш», г. Королев, 141070, Россия

Рассмотрена задача анализа возможности повышения эффективности управления космическими аппаратами и орбитальными группировками, функционирующими на различных орбитах и имеющими разный состав технических средств наземного контура управления; как следствие, у них разные технологические циклы управления. Основная цель проведенного исследования — обоснование возможности повышения эффективности управления постоянно расширяющейся орбитальной группировкой Госкорпорации «Роскосмос» путем рационального применения программно-технических средств (активных средств) ЦУП в части их унификации, использования общих вычислительных ресурсов для обеспечения функционирования ЦУПов космическими аппаратами различного целевого назначения с возможностью их оперативного перераспределения в процессе управления полетами. Приведены примеры реализации вышеуказанных подходов в создаваемом изделии «Базовый ЦУП Роскосмоса». Представлены результаты анализа возможностей использования базового ЦУП Роскосмоса в существующих и перспективных проектах.

Ключевые слова: управление полетами, базовый ЦУП Роскосмоса, наземный комплекс управления

Введение. Одно из основных направлений развития российской космонавтики на период до 2035 г. — существенное расширение отечественной орбитальной группировки (ОГ), состоящей из автоматических космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), навигации и связи. В рамках работ только по Федеральной космической программе 2016–2025 гг. предусматривается ежегодное наращивание темпов освоения космического пространства автоматическими и пилотируемыми КА и космическими системами. В случае успешной реализации всех намеченных планов количество одновременно управляемых из ЦУП АО «ЦНИИмаш» космических аппаратов различного целевого назначения может удвоиться, и это без учета планов по развертыванию орбитальных группировок малых и сверхмалых КА.

За последние несколько лет был осуществлен переход от управления отдельными КА к управлению орбитальными группировками. Существующие подходы к управлению действующими КА и орбитальными группировками, реализованные в том числе в ЦУП АО «ЦНИИмаш», предполагают создание уникальных наземных средств

управления для каждого КА или орбитальной группировки КА. Технологический цикл управления предполагает проведение сеансов связи с КА практически на каждом витке полета, который находится в зоне радиовидимости наземных средств при штатно. Принимая во внимание ограниченные пределами территории Российской Федерации зоны радиовидимости КА, необходимость резервирования сеансов управления, особенности рабочих орбит КА, а также конкретные условия функционирования КА на орбите, при таком подходе к управлению численный состав орбитальной группировки, одновременно управляемой из одного ЦУПа, не может превышать десяти КА с учетом выбора оптимальной баллистической структуры орбитальной группировки, например, по разнесению аргумента широты u [1]. Другими словами, при необходимости управления орбитальной группировкой, состоящей из десятков КА, при условии проведения сеансов связи на каждом видимом витке полета потребуются создавать новый наземный комплекс управления (НКУ), включая ЦУП. Таким образом, для применения существующих подходов к управлению постоянно расширяющейся орбитальной группировкой необходимы значительные затраты ресурсов на разработку и эксплуатацию уникальных ЦУП, с помощью которых будут решаться схожие задачи, но для различных КА и орбитальных группировок.

Следовательно, для реализации задач расширения орбитальной группировки, заложенных в «Основных положениях основ государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу», требуется разработка новых, более эффективных подходов к управлению. В качестве одного из таких подходов целесообразно рассмотреть реализацию единой информационно-вычислительной инфраструктуры ЦУП, способной обеспечивать управление КА и ОГ различного целевого назначения с помощью максимального количества общих программно-технических средств, с учетом незначительных доработок под особенности управления каждого отдельно взятого КА. Такой подход может быть апробирован на действующих и перспективных КА ОГ Роскосмоса, создаваемых в рамках ФКП-2025.

Цель настоящего исследования — обосновать возможность повышения эффективности управления постоянно расширяющейся орбитальной группировкой КА Госкорпорации «Роскосмос» путем рационального использования программно-технических средств (активных средств) ЦУП с проведением их унификации, использованием общих вычислительных ресурсов для обеспечения функционирования ЦУПов КА различного целевого назначения, что позволит их оперативно перераспределять в процессе управления полетами.

Семантические аспекты теории эффективности применительно к управлению космическим полетом. Управление космическими полетами — сложный технологический процесс, направленный на обеспечение работы бортовых систем управляемых космических объектов, выполнение научно-исследовательских и других задач, предусмотренных программой полета. Этот процесс должен протекать организованно и слаженно, обеспечивая выполнение предусмотренной программы. Цель управления состоит в том, чтобы обеспечить максимальную эффективность использования средств управления в операции при достижении поставленной задачи [2].

Операция [2] — это система целенаправленных действий, объединенных единым замыслом и единой целью. Операция связана со следующими элементами:

1) управляющая деятельность органа управления — в данном случае управление космическим полетом;

2) активные средства, имеющиеся у органа управления и используемые в операции, — в рамках представленного исследования рассмотрены программно-технические средства ЦУП, а также посты управления, их использующие;

3) другие средства, взаимодействующие с активными средствами.

В общем плане эти три элемента отражают ответы на вопросы, как действовать, чем действовать и на что воздействовать для успешного достижения поставленной цели операции.

Управление космическим полетом целесообразно рассматривать как целенаправленный процесс функционирования системы (ЦНПФС — это операция), а центр управления полетами как целенаправленную техническую систему S_0 (ЦУТС), включающую все посты управления. Поскольку любая деятельность является целенаправленной и для ее реализации требуется расход ресурсов (различных видов) и времени, то и при ее разработке следует стремиться к рациональному расходу ресурсов относительно цели деятельности A_0 [3]. В рамках данного исследования решается задача минимизации использования активных средств с учетом достижения цели управления полетом — обеспечения целевого применения КА или КС. Основным объектом исследования теории эффективности является операция, т. е. целенаправленный процесс функционирования ЦУТС. Процесс управления полетом можно охарактеризовать его операционными свойствами (результативность, ресурсоемкость, оперативность и др.), которые в совокупности и во взаимосвязи характеризуют эффективность ЦНПФС. Эффективность — это способность действия давать результат, направленный на достижение цели, соотнесенный с затратами ресурсов всех видов [3]. Под эффективностью управления полетом понимается степень достижения цели

управления полетом с учетом привлечения ресурсов, задействуемых в управлении космическим полетом (программно-технических, вычислительных, человеческих, временных и др.). В данной статье рассматриваем вопросы повышения эффективности управления полетом путем повышения эффективности активных средств. Показатель эффективности активных средств рассчитывается как потенциальная эффективность операции при идеальном использовании активных средств (т. е. при лучшей стратегии управления) [4].

Существующие принципы построения ЦУП (части активных средств операции). К настоящему времени практика построения центров управления полетами, как и наземного комплекса управления в целом, основана на следующих принципах:

– каждый отдельный КА или ОГ управляется из собственного ЦУП, включающего специализированные программно-технические средства управления;

– для управления отдельным КА или ОГ создается свое уникальное НКУ, предполагающее совместное использование выделенных командно-измерительных станций для управления конкретным КА или ОГ совместно со станциями общего назначения;

– для управления КА или ОГ используется многопунктная технология, предполагающая проведение сеансов связи практически на всех видимых витках [5].

Основные преимущества такого подхода к управлению КА — высокая надежность проведения операций управления с КА (наличие резервных витков управления), высокие показатели контроля состояния каждого управляемого КА (возможность сброса телеметрической информации (ТМИ) 5-6 раз в сутки), оперативность принятия решений в случае возникновения нештатных ситуаций во время полета. Однако наряду с очевидными преимуществами существующие подходы к управлению полетами имеют и недостатки: невозможность использовать специализированные программно-технические комплексы для управления другими КА, необходимость предоставлять отдельный зал управления для работы с каждым КА или космической системой, а также обеспечивать подготовку операторов для обслуживания каждого конкретного программного комплекса, низкая масштабируемость ЦУП в случае возникновения нештатной ситуации (для оперативного управления КА из другого зала потребуются вложения значительных программно-технических, вычислительных, человеческих, временных и других ресурсов). Таким образом, в случае реализации планов по наращиванию орбитальной группировки потребуются большие финансовые вложения при существующих подходах к управлению полетами.

В общем случае общую задачу управления полетом КА различного целевого назначения можно подразделить на несколько задач,

решаемых на отдельных автоматизированных рабочих местах (АРМ) — постах управления:

- баллистико-навигационное обеспечение полета, предназначенное для определения текущих и прогнозируемых параметров движения;
- планирование полета на определенный период времени (долгосрочный, среднесрочный и оперативный), включая выбор состава и типа возможных режимов функционирования систем и аппаратуры с привязкой либо к определенному интервалу времени, либо к точке орбиты или к интервалу трассы;
- подготовка и выдача на борт КА команд и программ управления, необходимых для выполнения заданного плана (командно-программное обеспечение);
- контроль текущей работоспособности бортовых систем КА и возможности выполнения ими поставленной задачи (телеметрическое обеспечение);
- контроль бортового времени, его привязка к системе единого времени;
- планирование задействования средств наземного и спутникового контуров управления.

Все указанные выше функции реализуются на АРМ ЦУП. С учетом того, что необходимо обеспечить требования надежности функционирования ЦУП, может быть более 20 таких АРМ в одном ЦУП КА научно-социального и экономического назначения.

Математическая постановка задачи и основные допущения. При решении задач повышения эффективности использования активных средств будем рассматривать ЦУТС $\bar{S}_0 = [S_0, S_1, \dots, S_n]^T$, которая включает в себя все центры управления космическими полетами автоматических КА различного целевого назначения S_n . Поскольку рассматриваем ЦУТС, каждый центр управления полетом предназначен для определенной цели (обеспечение применения КА или КС) — A_0 . Цель достигается в результате проведения операций с использованием ресурсов системы (АРМ ЦУП, реализующих функции управления). Под стратегией управления u понимается порядок использования ресурсов системы для достижения конечной цели. Таким образом, для достижения цели управления полетами используются операции управления, которые выполняются с применением ресурсов ЦУП по определенной стратегии управления, обеспечивающей достижение поставленной цели, т. е. цель достигается путем получения результата операции Y :

$$\bar{Y}(u) = \bar{f}(q(u), C(u), T(u)), \quad (1)$$

где u — выбранная стратегия управления; $q(u)$ — показатель, характеризующий степень выполнения цели управления; $C(u)$ — показатель, характеризующий степень задействования ресурсов; $T(u)$ — показатель, характеризующий затраченное время.

В качестве допущения будем рассматривать потенциальную эффективность использования активных средств при постоянной стратегии управления для каждого используемого ресурса ЦУП КА ($u = \text{const}$).

Рассмотрим более подробно показатель $C(u)$, характеризующий степень задействования ресурсов:

$$C(u) = f(Y_{\text{тр}}(u), q), \quad (2)$$

где q — число затраченных ресурсов; $Y_{\text{тр}}(u)$ — требуемый результат,

$$Y_{\text{тр}}(u) = y_i \quad (3)$$

(y_i — выход конечного автомата M , применяющегося при моделировании использования ресурсов ЦУП,

$$M = (X, Y, S, \delta, \lambda), \quad (4)$$

X, Y — множество входных и выходных значений, S — конечное множество состояний, δ — функция переходов, λ — функция выходов).

При этом используемые ресурсы ЦУП моделировали автоматами двух типов:

$$\begin{cases} y_i = \delta(s_i); \\ s_{i+1} = \lambda(x_i); \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} y_i = \delta(s_i, x_i); \\ s_{i+1} = \lambda(s_i, x_i, r(t)), \end{cases} \quad (6)$$

где $r(t)$ — текущее положение КА.

Пример построения конечного автомата, моделирующего работу АРМ и решающего задачи баллистико-навигационного обеспечения (БНО), представлен на рис. 1.

Задача обеспечения рационального использования активных средств управления полетом (оптимизация значений вышеуказанных показателей) может быть решена расширением возможностей ЦУП путем дооснащения его базовыми программно-техническими средствами обеспечения управления полетами КА различного целевого

назначения, обладающими единым интерфейсом, системой интеллектуального планирования перераспределения ресурсов, автоматизированной диагностикой неисправностей, максимальной автоматизацией процессов обеспечения управления полетом [6]. В этом случае появится возможность уменьшить число используемых ресурсов q с сохранением требуемого результата операции $Y_{\text{тр}}(u)$.

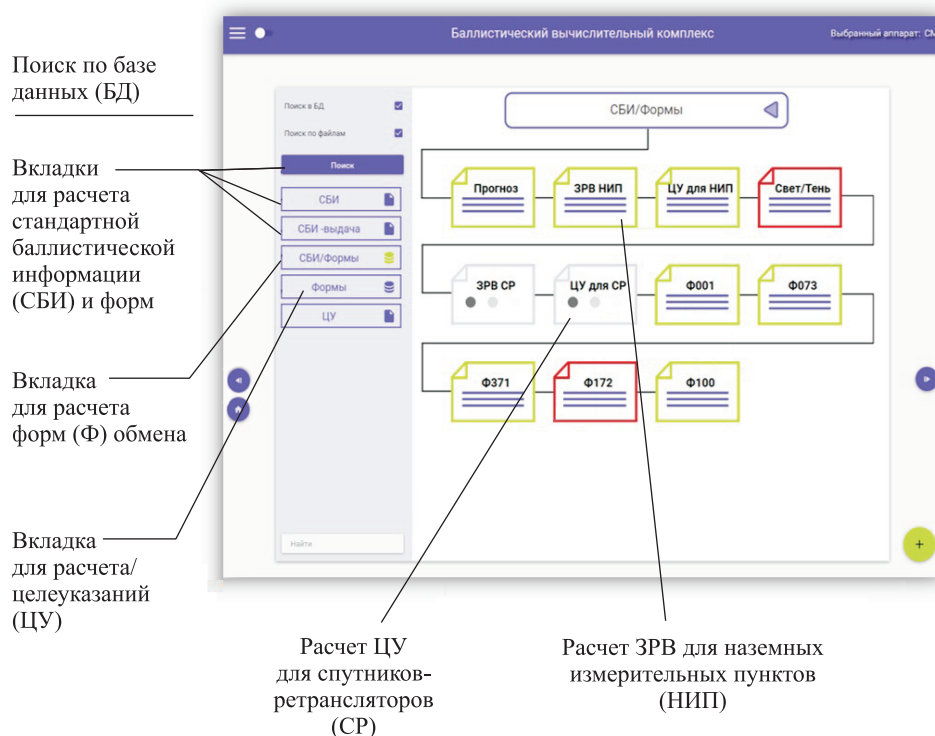


Рис. 1. Пример построения конечного автомата

Практическая реализация принципов унификации и интеграции средств управления полетом в «Базовом ЦУП Роскосмоса». С 2016 г. в ЦУП АО «ЦНИИмаш» активно проводится работа по созданию изделия «Базовый ЦУП Роскосмоса». Основная цель создания данного изделия — обеспечение управления полетами постоянно расширяющейся орбитальной группировки Госкорпорации «Роскосмос», включая пилотируемую программу, а также КА фундаментальных и научных исследований. Как отмечалось выше, для реализации централизованного управления разнородными, постоянно расширяющимися орбитальными группировками необходима разработка унифицированных (базовых) программно-аппаратных комплексов, реализующих функции управления КА. Кроме того, требуется оперативно решать задачи подготовки и предоставления

заинтересованным потребителям аналитической информации о состоянии всей управляемой из базового ЦУП орбитальной группировки (включая размещенные на космических аппаратах полезные нагрузки), задачи оперативного мониторинга состояния программно-технических средств базового ЦУП Роскосмоса, а также задач автоматизированного обмена информацией с внутренними и внешними абонентами, участвующими в управлении полетом. Для обеспечения реализации всех вышеперечисленных задач базовый ЦУП Роскосмоса подразделяется на четыре программно-технических комплекса.

1. Реализующий все основные функции управления полетами Комплекс базовых средств для обеспечения управления полетами КА, в состав которого входят:

1) комплекс базовых средств телеметрического обеспечения, реализующий базовые функции сбора, коммутации, предварительной, первичной и вторичной обработки ТМИ от различных источников, а также функции анализа ТМИ и представления результатов обработки;

2) комплекс базовых средств баллистико-навигационного обеспечения (БСБНО), реализующий базовые функции решения задач баллистико-навигационного обеспечения полета околоземных и дальних КА, на основе библиотеки стандартных баллистических процедур, где собрана программная реализация всех основных законов динамики космического полета, а также реализованы возможности моделирования активного движения КА, оснащенных различными двигательными установками (рис. 2) [7];

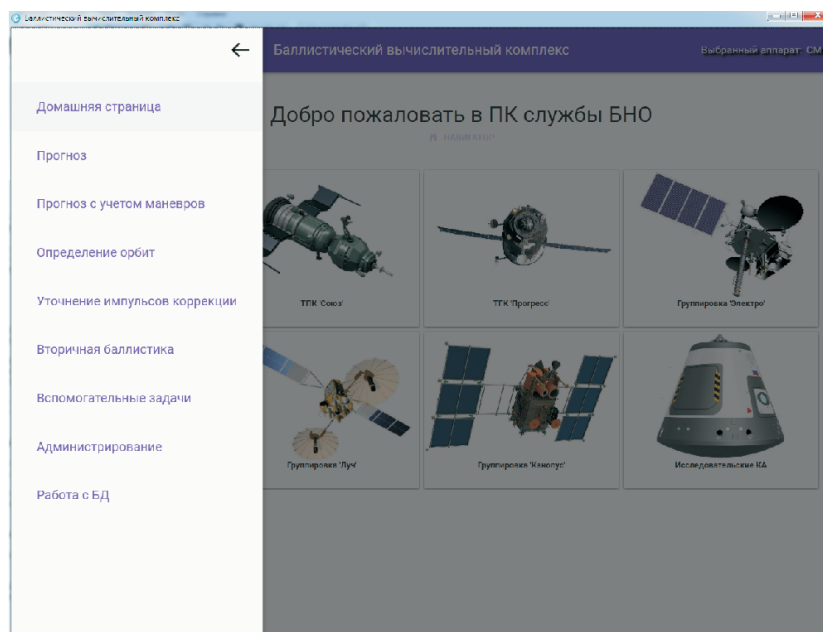


Рис. 2. Единый интерфейс базовых средств баллистико-навигационного обеспечения для космических аппаратов различного целевого назначения

3) комплекс базовых средств командно-программного обеспечения, решающий задачи обмена командно-программной информацией со всеми основными наземными командно-измерительными системами, использующимися для управления полетами КА различного целевого назначения;

4) комплекс базовых средств обеспечения оперативных работ, реализующий функции интеллектуального планирования задействования ресурсов базового ЦУП Роскосмоса, а также автоматизированного контроля состояния орбитальной группировки Госкорпорации «Роскосмос», элементов наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами научного и социально-экономического назначения (НАКУ КА НСЭН) и измерений.

2. Комплекс базовых средств обеспечения целевого применения КА, реализующий функции централизованного хранения и распространения всем заинтересованным потребителям целевой информации, получаемой от КА различного целевого назначения.

3. Комплекс базовых средств информационного обеспечения полетов КА, реализующий все необходимые функции обеспечения связи при управлении КА, который содержит:

1) комплекс базовых средств моделирования и информационного обеспечения полетов, решающий задачи моделирования и отображения полета КА различного целевого назначения, от запуска до завершения срока активного существования;

2) комплекс базовых средств информационной инфраструктуры, в состав которого включены базовые средства локальной вычислительной сети ЦУП, IP-телефонии, видеоконференцсвязи, внешних информационных обменов;

3) комплекс базовых средств системы единого времени;

4) комплекс базовых коллективных средств отображения, включающий в состав базовые средства обработки и представления информационных потоков, а также средства формирования контента;

5) комплекс базовых средств связи (БСС), содержащий базовые средства магистральных каналов связи, телефонной связи, циркулярной связи;

6) систему обеспечения безопасности информации (СОБИ).

4. Комплекс дата-центра базового ЦУП Роскосмоса, предоставляющего всю IT-инфраструктуру для функционирования базового ЦУП Роскосмоса, в его состав входят:

1) системы хранения данных дата-центра базового ЦУП Роскосмоса;

2) комплекс вычислительных средств дата-центра базового ЦУП Роскосмоса;

3) программная платформа виртуализации и организации облачных вычислений.

Все перечисленные выше составляющие базового ЦУП Роскосмоса обеспечивают реализацию базовых функций управления полетами КА и орбитальных группировок различного целевого назначения по единым подходам с использованием единых интерфейсов программных комплексов, обеспечивающих управление полетом, а также предоставляют возможность оперативного перераспределения вычислительных ресурсов и парирования нештатных ситуаций, возникающих на технических средствах базового ЦУП Роскосмоса. Следовательно, при создании ЦУПов конкретных КА и ОГ необходима доработка базовых средств под конкретные форматы обмена информации либо специфические для каждого КА функции, реализующиеся для его управления. Использование базового ЦУП Роскосмоса при управлении КА различного целевого назначения не только обеспечивает применение единых принципов управления полетами разнородной орбитальной группировкой, но и существенно сокращает затраты на создание ЦУП КА, так как при этом не нужно организовывать новый ЦУП под каждый новый КА или орбитальную группировку, а достаточно провести необходимые доработки существующих программно-технических средств для обеспечения их работы с конкретным КА (доработать программы под выдачу определенных форм обмена, дооснастить ЦУП средствами громкоговорящей связи, тонкими клиентами и т. д.).

Анализ результатов численного эксперимента по моделированию. Для имитационного моделирования управления орбитальными группировками КА различного целевого назначения использовались штатные программные комплексы ЦУП, решающие задачи оперативного баллистико-навигационного обеспечения управления полетами [8] и планирования средств НАКУ КА НСЭН и измерений, а также разработанный программный комплекс построения конечных автоматов. Основным допущением при моделировании была неизменность стратегии управления КА и ОГ различного целевого назначения, так как в данном исследовании рассматривалась частная задача обеспечения рационального использования активных средств, участвующих в управлении космическим полетом. Операции обеспечения управления полетом [9] (планирование полета на сутки, получение измерений текущих навигационных параметров [10], их обработка, определение орбиты, формирование командно-программной информации и т. д.) моделировались как последовательные, а процессы послесанной обработки телеметрической информации не учитывались.

При моделировании процесса управления действующей и перспективной орбитальной группировкой автоматических КА, управляемых из ЦУП АО «ЦНИИмаш», рассматривалось управление полетами существующих и перспективных орбитальных группировок, всего более 20 КА (рис. 3).

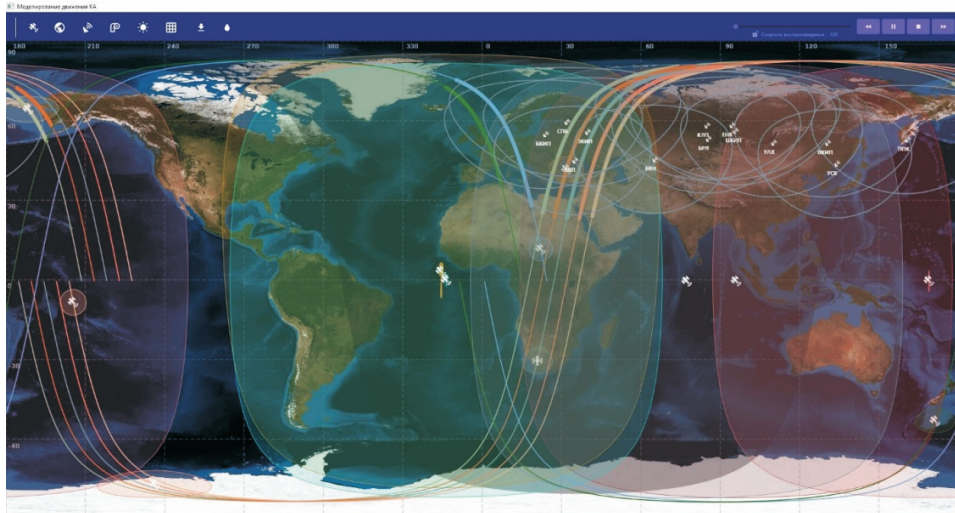


Рис. 3. Визуализация орбитального построения космических аппаратов, управляемых из ЦУП

Было рассмотрено два варианта минимизации использования ресурсов q путем унификации:

1) технической инфраструктуры (использование только комплекса базовых средств информационного обеспечения полетов КА и комплекса дата-центра из состава базового ЦУП Роскосмоса);

2) программного обеспечения и технической инфраструктуры ЦУП (использование полного состава базового ЦУП Роскосмоса).

Результаты моделирования (рис. 4) показали, что с использованием только технической инфраструктуры базового ЦУП можно уменьшить число задействованных ресурсов ЦУП до 25 % (синяя кривая) при условии выполнения цели всех операций, проведенных при управлении $Y_{\text{тр}}(u)$. Это достигается в основном сокращением постов технической поддержки персонала управления, потому что при использовании единой ИТ-инфраструктуры, а также методов

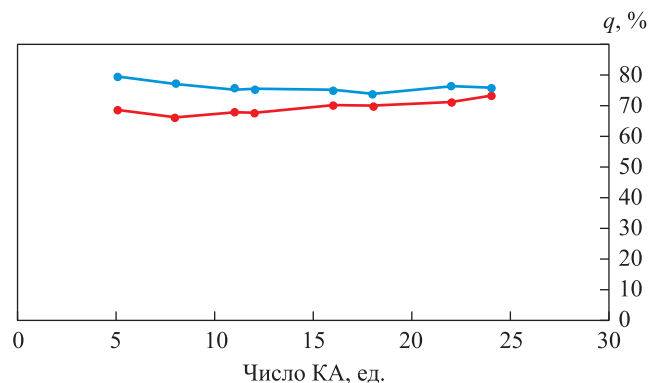


Рис. 4. Зависимость использования ресурсов от числа спутников

виртуализации и облачных вычислений посты технической поддержки могут быть общими для целого ряда ЦУП КА различного целевого назначения. Численный эксперимент показал, что поскольку данный эффект можно увеличить до 10 % путем унификации программно-технических комплексов обеспечения управления полетом (красная кривая), в этом случае можно будет объединить по тематике решаемых задач посты, участвующие в обеспечении управления полетом различных ОГ, например, БНО, ТМО, системы единого времени и т. д. Нелинейность графиков обусловлена различным баллистическим построением орбитальных группировок, различным числом постов в каждом ЦУПе отдельной орбитальной группировки КА. Кроме того, в данном примере моделировались как КА, расположенные на низких околоземных орбитах, так и КА фундаментальных научных исследований дальнего космоса, поэтому две кривые не уменьшаются пропорционально увеличивающемуся количеству управляемых КА.

Заключение. В рамках проведенного исследования было предложено определение эффективности управления полетом, а также введены численные показатели, характеризующие качество управления полетом. В результате моделирования процессов управления ОГ КА различного целевого назначения показано, что при использовании существующих подходов к управлению полетами внедрение унифицированных программно-технических средств для обеспечения управления полетами позволяет на 35 % улучшить интегральный показатель использования ресурсов посредством унификации программного обеспечения и технической инфраструктуры ЦУП. Таким образом, благодаря использованию базового ЦУП Роскосмоса в существующих и перспективных проектах можно получить значительный экономический эффект на всех этапах — от создания КА и до окончания его эксплуатации. В настоящее время базовый ЦУП Роскосмоса уже используется в создании ЦУП перспективных КА. Кроме того, привлечение базового ЦУП Роскосмоса планируется при создании ЦУП перспективного пилотируемого корабля «Орел», а также ЦУП всех перспективных автоматических КА, управляемых из ЦУП АО «ЦНИИмаш».

Была подтверждена эффективность использования принципов унификации и интеграции программного обеспечения и технической инфраструктуры ЦУП при управлении постоянно расширяющимися орбитальными группировками. Однако для практической реализации процессов управления требуется пересмотреть существующие подходы к управлению, включая оптимизацию всех вышеперечисленных коэффициентов эффективности управления, повышение автономности бортового контура управления, внедрение сетевых подходов при управлении орбитальной группировкой, а также методов искусственного интеллекта в бортовых и наземных контурах управления.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Матюшин М.М., Кутоманов А.Ю., Усиков С.Б., Гордиенко В.А., Грудин Д.В., Паненко В.С. Особенности реализации баллистического построения и поддержания орбитальной структуры в космической системе «Канопус-В». *Космонавтика и ракетостроение*, 2020, № 5 (11), с. 64–78.
- [2] Уткин В.Ф., Крючков Ю.В. *Надежность и эффективность в технике. Справочник: в 10 т., т. 3. Эффективность технических систем*. Москва, Машиностроение, 1988, 328 с.
- [3] Петухов Г.Б., Якунин В.И. *Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем*. Москва, АСТ, 2006, 504 с.
- [4] Недайвода А.К., Рождественский А.В. Оценка эффективности и качества ракетно-космической техники. *Труды МАИ*, 2012, вып. 56. URL: http://trudymai.ru/upload/iblock/2a5/otsenka-effektivnosti-i-kachestva-raketno_kosmicheskoy-tekhniki.pdf?lang=ru&issue=56
- [5] Соловьев В.А., Лысенко Л.Н., Любинский В.Е. *Управление космическим полетом*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009, ч. 1, 476 с.
- [6] Матюшин М.М., Кутоманов А.Ю. Центр управления полетами как ключевой элемент технологии управления космическим движением. *Системный анализ, управление и навигация*. Москва, 2018, с. 21–24.
- [7] Matushin M.M., Kutomanov A.Yu. Use of network approaches to solve tasks of ballistic and navigation support for large-scale space systems mission control, *AIP Conference Proceedings*, 2021, vol. 2318, art. ID 110007. <https://doi.org/10.1063/5.0036174>
- [8] Почукаев В.Н. *Основные концептуальные положения баллистико-навигационного обеспечения полетов автоматических космических аппаратов*. Москва, Машиностроение — Полет, 2018, 156 с.
- [9] Малышев В.В., Красильщиков М.Н., Бобронников В.Т., Нестеренко О.П., Федоров А.В. *Спутниковые системы мониторинга. Анализ, синтез и управление. Раздел 3.5*. Москва, Изд-во МАИ, 2000. ISBN 5-7035-2384-2
- [10] Виноградов Д.Ю., Давыдов Е.А. Методика формирования устойчивых околокруговых солнечно-синхронных орбит при длительных сроках существования космического аппарата. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2017, вып. 6. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-6-1630>

Статья поступила в редакцию 22.06.2021

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Матюшин М.М., Кутоманов А.Ю., Иванов А.А., Котеля В.В. Анализ путей повышения эффективности управления космическими аппаратами различного целевого назначения за счет унификации и интеграции средств управления полетом. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2021, вып. 11. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2021-11-2130>

Матюшин Максим Михайлович — д-р техн. наук, первый заместитель генерального директора Центрального научно-исследовательского института машиностроения — начальник Центра управления полетами. Автор более 100 научных трудов. Область научных интересов: управление полетами объектов космической техники, обработка и анализ информации о состоянии и параметрах движения космических аппаратов, создание и применение интеллектуальных систем управления.

Кутоманов Алексей Юрьевич — канд. техн. наук, заместитель начальника ЦУП АО «ЦНИИмаш». Автор более 30 научных трудов. Область научных интересов: управление полетами объектов космической техники, проектная баллистика и баллистико-навигационное обеспечение управления полетами космических аппаратов и космических систем. e-mail: kutomanov@mcc.rsa.ru

Иванов Андрей Александрович родился в 1977 г., окончил МГУ имени Ломоносова (факультет ВМиК). Область интересов: системный анализ, управление полетами, информационные технологии, командно-программное и телеметрическое обеспечение управления полетами космических аппаратов и космических систем.

Котеля Владислав Владимирович — начальник отделения ЦУП АО «ЦНИИмаш». Область интересов: системный анализ, управление полетами, информационное обеспечение управления полетами космических аппаратов и космических систем, системы связи, информационные технологии

Analysis of ways to improve the efficiency of various purpose spacecraft control through the flight control unification and integration

© M.M. Matyushin, A.Yu. Kutomanov, A.A. Ivanov, V.V. Kotelya

JSC Central Research Institute for Machine Building, Korolyov, 141070, Russia

The article considers the problem of analyzing the possibility of increasing the control efficiency of spacecrafts and orbital groupings operating in different orbits, having a different composition of the ground control loop technical means and, as a consequence, different technological control cycles. The main purpose of the study is to substantiate the possibility of increasing the efficiency of control of the constantly expanding orbital grouping of the State Corporation "Roscosmos" through the rational use of MCC software and hardware (active means) in terms of their unification, the use of common computing resources to ensure the functioning of MCCs by various purposes spacecrafts with the ability of their operational redistribution in the flight control process. Examples of the implementation of the above approaches in the currently being created product "Roscosmos basic MCC" are given. The results of the analysis of the possibilities of using the Roskosmos basic MCC in existing and prospective projects are presented.

Keywords: *flight control, Roskosmos basic MCC, ground control complex*

REFERENCES

- [1] Matyushin M.M., Kutomanov A.Yu., Usikov S.B., Gordienko V.A., Grudin D.V., Panenko V.S. *Kosmonavtika i raketostroenie — Cosmonautics and Rocket Engineering*, 2020, no. 5 (11), pp. 64–78.
- [2] Utkin V.F., Kryuchkov Yu.V. *Nadezhnost i effektivnost v tekhnike. Spravochnik: V 10 tomakh. T. 3. Effektivnost tekhnicheskikh sistem* [Reliability and efficiency in technology. Handbook: In 10 vols, vol. 3. Efficiency of technical systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988, 328 p.
- [3] Petukhov G.B., Yakunin V.I. *Metodologicheskie osnovy vneshnego proyektirovaniya tselenapravlennykh protsessov i tselestremlynykh sistem* [Methodological foundations of external design of purposeful processes and purposeful systems]. Moscow, AST Publ., 2006, 504 p.
- [4] Nedayvoda A.K., Rozhdestvensky A.V. *Trudy MAI — Transactions of Moscow Aviation Institute*, 2012, no. 56. Available at: http://trudymai.ru/upload/iblock/2a5/otsenka-effektivnosti-i-kachestva-raketno_kosmicheskoy-tekhniki.pdf?lang=ru&issue=56
- [5] Solovyev V.A., Lysenko L.N., Lyubinsky V.E. *Upravlenie kosmicheskimi poletami* [Space flight control]. Moscow, BMSTU Publ., 2009, part 1, 476 p.
- [6] Matyushin M.M., Kutomanov A.Yu. Tsentr upravleniya poletami kak klyuchevoy element tekhnologii upravleniya kosmicheskim dvizheniyem [Mission Control Center as a key element of space traffic control technology]. *Sistemnyy analiz, upravleniye i navigatsiya. Tezisy dokladov XXIII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Sistemnyy analiz, upravleniye i navigatsiya" Yevpatoriya, 01–08 iyulya 2018 goda* [System analysis, control and navigation. Abstracts of the XXIII international scientific conference "System analysis, control and navigation", Evpatoria, July 01–08, 2018]. Moscow, MAI Publ., 2018, pp. 21–24.

- [7] Matyushin M.M., Kutomanov A.Yu. *AIP Conference Proceedings*, 2021, vol. 2318, art. ID 110007. <https://doi.org/10.1063/5.0036174>
- [8] Pochukaev V.N. *Osnovnye kontseptualnye polozheniya ballistiko-navigatsionnogo obespecheniya poletov avtomaticheskikh kosmicheskikh apparatov* [The main conceptual provisions of ballistic and navigation support for automated spacecraft flights]. Moscow, Mashinostroenie — Polet Publ., 2018, 156 p.
- [9] Malyshev V.V., ed. *Sputnikovyie sistemy monitoringa. Analiz, sintez i upravleniye. Razdel 3.5* [Satellite monitoring systems. Analysis, synthesis and management. Section 3.5]. Moscow, MAI Publ., 2000, 566 p.
- [10] Vinogradov D.Yu., Davydov E.A. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2017, iss. 6. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-6-1630>

Matyushin M.M., Dr. Sc. (Eng.), First Deputy General Director of the Central Research Institute for Machine Building, Head of the Mission Control Center; author of over 100 research publications. Research interests: space technology object flight control, information on the state and parameters of spacecraft movement processing and analysis, creation and application of intelligent control systems.

Kutomanov A.Yu., Cand. Sc. (Eng.), Deputy Head of Mission Control Center, Central Research Institute for Machine Building; author of over 30 research publications. Research interests: space technology object flight control, design ballistics and ballistic and navigation support for flight control of spacecrafts and space systems.
e-mail: kutomanov@mcc.rsa.ru

Ivanov A.A. (b. 1977), graduated from Lomonosov Moscow State University, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics. Research interests: system analysis, flight control, information technology, command-software and telemetry support for flight control of spacecraft and space systems.

Kotelya V.V., Head of Department, Mission Control Center, Central Research Institute for Machine Building. Research interests: system analysis, flight control, information support for flight control of spacecraft and space systems, communication systems, information technology.