

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК 629.78

DOI 10.21685/2307-5538-2020-1-1

Л. А. Федорова, М. А. Фролов, Н. В. Андреев, В. В. Анохин

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

L. A. Fedorova, M. A. Frolov, N. V. Andreev, V. V. Anokhin

CONCEPTUAL FOUNDATIONS OF ORGANIZATIONAL TRANSFORMATIONS OF SPACECRAFT CONTROL

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Представлены концептуальные основы и теоретические аспекты организационных преобразований в процессе развития наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами и измерений. Целью исследования является уменьшение расходов государства на управление космическими аппаратами (КА), а также повышение эффективности использования перспективных средств управления КА и повышение конкурентоспособности на отечественном и зарубежном рынках. **Материалы и методы.** Объектом исследования являются существующие и перспективные наземные комплексы управления автоматическими космическими аппаратами научного и социально-экономического назначения, наземные комплексы управления пилотируемыми космическими комплексами, наземные комплексы управления космическими аппаратами дальнего космоса, комплекс средств измерений, сбора и обработки информации. **Результаты.** Построение наземного автоматизированного комплекса управления космическим аппаратом на базе систем наземных и спутниковых каналов связи и космических систем ретрансляции позволяет повысить глобальность и оперативность информационного обмена (передачи командно-программной информации, приема целевой, служебной и телеметрической информации) с космическим аппаратом. **Выводы.** Необходимы концептуальные организационные преобразования наземного автоматизированного комплекса управления космическим аппаратом и измерений для внедрения новых технологий и совершенствования управления космическими аппаратами, которые позволят решить ряд важных задач, а именно: существенно снизить стоимость эксплуатации, уменьшить расходы государства на управление космическими аппаратами, повысить эффективность использования перспективных средств управления космическим аппаратом и иметь высокую конкурентоспособность на отечественном и зарубежном рынках.

A b s t r a c t. Background. This article contains the conceptual foundations and theoretical aspects of organizational transformations in the formation of the development process of a ground-based automated spacecraft control complex. The aim of the study is to determine proposals for the invariant structure, technologies, technical appearance and characteristics of means and complexes for controlling spacecraft (SC) for various purposes, ensuring the implementation of various versions of federal targeted programs for the study and exploration of outer space. The object of research here is the composition of existing and promising means of

ground-based control systems for automatic spacecraft for scientific and socio-economic purposes, ground-based control systems for manned space systems, ground-based control systems for spacecraft far space, a complex of measuring instruments for collecting and processing information from cosmodromes. **Results.** The construction of a ground-based automated spacecraft control system based on ground-based and satellite communication channels and space relay systems allows increasing the globality and efficiency of information exchange (transmission of command and program information, reception of target, service and telemetry information) with the spacecraft. **Conclusions.** Conceptual organizational transformations of the ground-based automated spacecraft control and measurement complex are necessary for the introduction of new technologies and improvement of spacecraft control, which will allow solving a number of important tasks, namely: significantly reducing the cost of operation, reducing the state's expenses for managing space applications, increasing the efficiency of using advanced spacecraft control tools and having high competitiveness in the domestic and foreign markets.

К л ю ч е в ы е с л о в а: космический аппарат, ракета космического назначения, наземный автоматизированный комплекс управления, космический комплекс.

К e y w o r d s: spacecraft, space rocket, ground-based automated control system, space complex.

Наземный автоматизированный комплекс управления. Определение и функциональные задачи

Наземный автоматизированный комплекс управления космическим аппаратом и измерений (НАКУ КА) – это совокупность необходимой инфраструктуры, технических систем и средств, измерительных комплексов космодромов запуска (ИКК), предназначенных для формирования наземных комплексов, обеспечивающих реализацию автоматизированных процессов контроля состояния и параметров полета изделий ракетно-космической техники. НАКУ КА обеспечивает проведение измерений текущих навигационных параметров изделий ракетно-космической техники, обмен с КА и разгонными блоками командно-программной информацией, прием телеметрической и цифровой информации с изделий [1].

Целью развития НАКУ КА и измерений является надежное и экономичное решение задач управления автоматическими КА и пилотируемыми космическими комплексами и контроля их запусков. НАКУ КА и измерений предназначен для решения следующих задач:

- управление автоматическими КА;
- управление и информационное обеспечение транспортными пилотируемыми и грузовыми кораблями;
- информационно-телеметрическое и навигационно-баллистическое обеспечение пусков ракетно-космического назначения;
- обеспечение научных исследований, проводимых с применением наземного комплекса управления дальнего космоса и других средств;
- обеспечение взаимодействия технических средств и объектов НАКУ КА и измерений со средствами и организациями других ведомств и международных организаций, с секторами Главных конструкторов изделий ракетно-космической техники (РКТ), необходимого для выполнения целевых задач.

Проблемные вопросы управления космическими аппаратами

Одним из наиболее актуальных вопросов совершенствования процесса управления КА в настоящее время является разработка и применение новых технологических решений, так как использование существующей технологии управления КА сопровождается значительной нагрузкой средств НАКУ КА и измерений, а также высокими затратами на эксплуатацию средств управления КА.

Узким местом контура управления полетом КА является связь между наземным комплексом управления и бортовым комплексом управления. Основным недостатком существующих сетей приемо-передающих станций являются ограниченные зоны радиовидимости командно-измерительного пункта (КИП), что не позволяет обеспечить проведение сеансов связи с КА в любое требуемое время [2].

Таким образом, одним из центральных направлений совершенствования технологии управления КА, обеспечивающим повышение оперативности, глобальности и надежности управления КА, является использование спутников-ретрансляторов для передачи командно-программной, измерительной информации, обеспечение радио- и телевизионной связи. Эффективное и экономически выгодное применение космических систем ретрансляции будет возможным только при расширении количества ее абонентов и удовлетворении перспективных требований, предъявляемых к управлению КА и ретрансляции с КА информации целевого назначения [3].

Роль и место комплекса средств измерений, сбора и обработки ракеты космического назначения в НАКУ КА и измерений

Комплекс средств измерений, сбора и обработки ракеты космического назначения представляет собой оперативную совокупность взаимосвязанных технических средств с информационным и математическим обеспечением и сооружений из состава НАКУ КА и измерений, предназначенную для обеспечения контроля полета ракеты конкретного типа на участке выведения, обработки, документирования и распределения информации между потребителями.

При наличии в составе ракеты космического назначения разгонного блока для его информационно-телеметрического и навигационно-баллистического обеспечения используется наземный измерительный комплекс разгонного блока, который совместно с комплексом средств измерений, сбора и обработки обеспечивает решение задач информационно-телеметрического, навигационно-баллистического и командно-программного обеспечения на всем активном участке траектории выведения КА на заданную орбиту [4].

Комплекс средств измерений, сбора и обработки и наземный измерительный комплекс должны обеспечивать решение следующих основных задач:

- а) по информационно-телеметрическому обеспечению:
 - организацию и проведение телеизмерений на этапе предстартовой подготовки и на всех участках полета ракетно-космического назначения;
 - прием в зоне видимости наземных средств телеметрической информации в реальном масштабе времени, а также записанной в бортовые запоминающие устройства на участках отсутствия связи бортовой аппаратуры с наземными станциями;
 - сбор и передачу телеметрической информации;
 - определение факта отделения космической головной части;
 - оперативную обработку телеметрической информации для послеполетного анализа ограниченного числа параметров и выдачи заключения по пуску;
 - полную послеполетную обработку телеметрической информации для оценки результатов пуска в части функционирования всех агрегатов и систем и рассылку результатов обработки заинтересованным организациям;
- б) по навигационно-баллистическому обеспечению:
 - расчет и выдачу целеуказаний измерительным средствам комплекса средств измерений, сбора и обработки и наземного измерительного комплекса для проведения измерений на всех участках траектории выведения КА;
 - организацию и проведение измерений текущих навигационных параметров во время полета ракетно-космического назначения;
 - сбор и обработку измерений текущих навигационных параметров ракетно-космического назначения на активном участке траектории, участках доразгона, промежуточной и переходной орбитах;
 - определение параметров движения разгонного блока на активном участке траектории и участках доразгона по данным радиотехнических, оптико-электронных средств, а также навигационной аппаратуры потребителя ГЛОНАСС/GPS (передаются в составе телеметрической информации);
 - проведение полной послеполетной обработки измерений текущих навигационных параметров, полученных на активном участке траектории, с выпуском отчета по оценке точности работы системы управления ракетоносителем для оценки реальных лётно-технических характеристик;
 - определение факта увода разгонного блока из зоны функционирования КА;
- в) по системе связи и системе единого времени:
 - обеспечение каналами связи и передачи данных всех абонентов комплекса средств измерений, сбора и обработки и наземного измерительного комплекса;
 - формирование и хранение шкалы времени и передача сигналов и эталонных частот на все измерительные средства для привязки результатов измерений;

– формирование сигнала подъема, регистрация и выдача точного времени старта на измерительные средства, в центры обработки и баллистические центры [5].

Для решения всех перечисленных задач необходимо создание комплекса средств измерений, сбора и обработки ракеты космического назначения и наземного измерительного комплекса разгонного блока как оперативных формирований, основными элементами которых в общем случае являются:

– региональный центр контроля, формируемый на космодроме запуска данного КА и предназначенный для централизованного решения задач по подготовке и управлению средствами ИКК и обеспечению контроля за полетом ракетносителя;

– центр анализа информации, предназначенный для централизованного автоматизированного решения задач по подготовке и обеспечению контроля за полетом ракетносителя, разгонного блока, а также для управления средствами комплекса средств измерений, сбора и обработки наземного измерительного комплекса;

– баллистические центры (основной и дублирующий).

Общим требованием к системе информационного обеспечению пусков изделий ракетно-космической техники является высокая надежность сбора, передачи, приема и обработки достоверной информации о работе систем, агрегатов и конструкции ракетно-космического назначения по всей трассе полета, точность и своевременность определения параметров движения при летных испытаниях и штатной эксплуатации [6].

Роль и место наземного комплекса управления разгонного блока в НАКУ КА и измерений

Съем телеметрической информации с разгонного блока требуется на всех активных участках траектории, в том числе проходящих вне зон радиовидимости наземных средств.

Траектории активных участков полета ракеты космического назначения проходят в основном на высотах полета до ~ 200 км. При выведении КА на геостационарную орбиту, высокие круговые и высокоэллиптические орбиты последний импульс включения двигательной установки разгонного блока проводится на высоте над поверхностью Земли – от 20 000 до 40 000 км.

Длительность сеансов передачи измерительной информации (телеметрической и траекторной) с ракетносителя – от 5 до 30 мин, а с разгонного блока на опорной, переходной и промежуточной орбитах – до нескольких часов (7–8 ч).

В перспективе должна быть обеспечена возможность контроля полета разгонного блока с использованием спутников-ретрансляторов [7].

Таким образом, основными направлениями развития информационно-телеметрического обеспечения запусков ракеты космического назначения являются:

- 1) внедрение унифицированных аппаратно-программных средств сбора и обработки телеметрической информации в центре анализа;
- 2) использование мобильных измерительных пунктов для контроля пусков ракет космического назначения по необорудованным трассам, а также в пристартовых районах космодромов;
- 3) создание и развертывание на объектах НАКУ КА и измерений перспективных комплексов телеметрических средств, включающих малогабаритные приемно-регистрирующие станции (радиотехнические комплексы), обеспечивающие прием телеметрической информации во всех применяемых стандартах и диапазонах (увеличенная скорость информационного обмена, надежность, помехоустойчивость, преддетекторная запись телеметрической информации, повышенный уровень автоматизации, сопровождение, пространственный поиск изделий);
- 4) оптимизация состава и интегрирование комплекса телеметрических средств и средств обработки телеметрической информации.

Основными направлениями развития комплекса средств измерений, сбора и обработки информации с ракеты космического назначения и наземного измерительного комплекса разгонного блока являются:

- 1) широкое внедрение ретрансляционных радиоканалов для повышения надежности, непрерывности и глобальности контроля запусков изделий РКТ, позволяющих сократить необходимое количество объектов наземной космической инфраструктуры;
- 2) широкое внедрение автономных систем навигации на базе использования ГЛОНАСС/GPS с передачей навигационной информации в составе телеметрической информации в качестве основного средства навигационно-баллистического обеспечения;
- 3) использование командно-измерительных систем для измерения текущих навигационных параметров разгонного блока на высотах более 40 000 км;

4) использование оптико-электронных средств с улучшенными тактико-техническими характеристиками для видеоинформационного обеспечения запусков ракеты космического назначения;

5) создание средств приема и передачи видеоинформации с ракеты космического назначения.

Основными направлениями развития НКУ КА дальнего космоса являются:

1) создание унифицированного наземно-радиотехнического комплекса для контроля и управления всеми типами дальними космическими аппаратами (ДКА), запускаемых по различным программам исследований дальнего космоса, включая пилотируемые полеты;

2) создание антенных систем на базе многоантенных решеток большой эффективной площадью зеркала и развертывание Центров дальней космической связи (ЦДКС) для повышения надежности управления КА в дальнем космосе;

3) внедрение в запросной и ответной радиолиниях наземно-радиотехнического комплекса дальнего космоса Ка-диапазона частот с целью повышения энергетических характеристик для увеличения скорости передачи на ДКА командно-программной информации, приема дальними космическими аппаратами телеметрической, научной, телевизионной информации, повышения точности траекторных измерений;

4) увеличение пропускной способности по количеству одновременно обслуживаемых КА в соответствии с динамикой развития орбитальной группировки КА;

5) обеспечение проведения фундаментальных научных исследований в дальнем космосе с использованием перспективных средств НКУ ДКА.

Построение НАКУ КА на базе систем наземных и спутниковых каналов связи и космических систем ретрансляции позволяет повысить глобальность и оперативность информационного обмена (передачи командно-программной информации, приема целевой, служебной и телеметрической информации) с КА.

Заключение

Таким образом, необходимы концептуальные организационные преобразования НАКУ КА и измерений для внедрения новых технологий и совершенствования управления космическими аппаратами, которые позволят решить ряд важных задач, а именно: существенно снизить стоимость эксплуатации, уменьшить расходы государства на управление космическими аппаратами, повысить эффективность использования перспективных средств управления КА и иметь высокую конкурентоспособность на отечественном и зарубежном рынках.

Библиографический список

1. Черкесов, Г. Н. Методы и модели оценки живучести сложных систем / Г. Н. Черкесов, И. Б. Шубинский. – Москва : Знание, 1987. – 116 с.
2. Альянах, И. Н. Моделирование вычислительных систем / И. Н. Альянах. – Ленинград : Машиностроение, 1988. – 224 с.
3. Цвиркун, А. Д. Синтез структуры сложных систем: оптимизационно-имитационный подход / А. Д. Цвиркун. – Москва : Наука, 1980. – 240 с.
4. Петушков, А. М. Исследование вопросов развития (прогнозирования) НКУ КА различных орбитальных группировок. Совершенствование научно-методического и математического обеспечения оценки (прогнозирования) достижимых характеристик средств НКУ КА различных орбитальных группировок : научно-технический отчет / А. М. Петушков, В. П. Иванов, М. К. Бондарева [и др.]. – Москва : ФГУП «РНИИ КР», 2002. – 76 с.
5. Петушков, А. М. Исследование вариантов развития наземного автоматизированного комплекса управления КА научного социально-экономического назначения и измерений : научно-технический отчет / А. М. Петушков, М. Ю. Кисляков, Н. С. Логачев [и др.]. – Москва : АО «Российские космические системы», 2010. – 164 с.
6. Лиманская, Т. В. Однопунктное управление группировкой малоразмерных КА / Т. В. Лиманская, А. С. Сергеев // Радиотехника, 2013. – № 1. – С. 78–82.
7. Фролов, М. А. Повышение метрологических характеристик информационно-измерительной управляющей системы двигательной установки / М. А. Фролов, О. А. Фролова, Р. Ш. Мусаев, А. В. Салмин // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. – № 4 (18). – С. 47–51.

References

1. Cherkesov G. N., Shubinskiy I. B. *Metody i modeli otsenki zhivuchesti slozhnykh sistem* [Methods and models for assessing the survivability of complex systems]. Moscow: Znanie, 1987, 116 p. [In Russian]

2. Al'yanakh I. N. *Modelirovanie vychislitel'nykh sistem* [Computer system modeling]. Leningrad: Mashinostroenie, 1988, 224 p. [In Russian]
3. Tsvirkun A. D. *Sintez struktury slozhnykh sistem: optimizatsionno-imitatsionnyy podkhod* [Synthesis of the structure of complex systems: optimization and simulation approach]. Moscow: Nauka, 1980, 240 p. [In Russian]
4. Petushkov A. M., Ivanov V. P., Bondareva M. K. et al. *Issledovanie voprosov razvitiya (prognozirovaniya) NKU KA razlichnykh orbital'nykh gruppировок. Sovershenstvovanie nauchno-metodicheskogo i matematicheskogo obespecheniya otsenki (prognozirovaniya) dostizhimykh kharakteristik sredstv NKU KA razlichnykh orbital'nykh gruppировок: nauchno-tekhnicheskiiy otchet* [Research on the development (prediction) of the SPACECRAFT NCS of various orbital groupings. Improving the scientific-methodological and mathematical support for evaluating (predicting) achievable characteristics of SPACECRAFT NCS of various orbital groupings: scientific and technical report]. Moscow: FGUP «RNII KP», 2002, 76 p. [In Russian]
5. Petushkov A. M., Kislyakov M. Yu., Logachev N. S. et al. *Issledovanie variantov razvitiya nazemnogo avtomatizirovannogo kompleksa upravleniya KA nauchnogo sotsial'no-ekonomicheskogo naznacheniya i izmereniy: nauchno-tekhnicheskiiy otchet* [Research of options for the development of a ground-based automated control system for SPACECRAFT of scientific socio-economic purpose and measurements : scientific and technical report]. Moscow: AO «Rossiyskie kosmicheskie sistemy», 2010, 164 p. [In Russian]
6. Limanskaya T. V., Sergeev A. S. *Radiotekhnika* [Radiotechnics]. 2013, no. 1, pp. 78–82. [In Russian]
7. Frolov M. A., Frolova O. A., Musaev R. Sh., Salmin A. V. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol'* [Measurement. Monitoring. Management. Control]. 2016, no. 4 (18), pp. 47–51. [In Russian]

Федорова Лидия Анатольевна

доктор экономических наук, профессор,
кафедра прикладной экономики ЦУОП,
Российский университет дружбы народов
(Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6)
E-mail: Laf2006@yandex.ru

Fedorova Lidiya Anatol'evna

doctor of economical sciences, professor,
sub-department of applied economics TsUOP,
Peoples' Friendship University of Russia
(6 Miklukho-Maklaya street, Moscow, Russia)

Фролов Михаил Алексеевич

кандидат технических наук,
начальник центра создания средств, систем
и комплексов НАКУ КА, ИКК и КСИСО КРК,
АО «Российские космические системы»
(Россия, г. Москва, ул. Авиамоторная, 53, корп. 1)
E-mail: Frolov_MA@spacecorp.ru

Frolov Mikhail Alekseevich

candidate of technical sciences,
head of the center for the Creation of Means, Systems
and Complexes of NAKU KA, IKK and KSISO KRK
JSC Russian Space Systems
(bld. 1, 53 Aviamotornaya street, Moscow, Russia)

Андреев Николай Владимирович

начальник отдела организации проектирования,
испытаний применения и сопровождения
технических средств и систем ИКК и НАКУ КА,
АО «Российские космические системы»
(Россия, г. Москва, ул. Авиамоторная, 53, корп. 1)
E-mail: Andreev_NV@spacecorp.ru

Andreev Nikolay Vladimirovich

head of department of organization for design,
testing of application and maintenance of technical
means and systems of the IKK and NAKU KA,
JSC Russian Space Systems
(bld. 1, 53 Aviamotornaya street, Moscow, Russia)

Анохин Вячеслав Владимирович

ведущий специалист,
отдел организации проектирования,
испытаний применения и сопровождения
технических средств и систем
ИКК и НАКУ КА,
АО «Российские космические системы»
(Россия, г. Москва, ул. Авиамоторная, 53, корп. 1)
E-mail: Anohin_VV@spacecorp.ru

Anokhin Vyacheslav Vladimirovich

leading specialist,
department of organization for design,
testing of application and maintenance
of technical means and systems
of the IKK and NAKU KA,
JSC Russian Space Systems
(bld. 1, 53 Aviamotornaya street, Moscow, Russia)

Образец цитирования:

Федорова, Л. А. Концептуальные основы организационных преобразований управления космическими аппаратами / Л. А. Федорова, М. А. Фролов, Н. В. Андреев, В. В. Анохин // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2020. – № 1 (31). – С. 5–10. – DOI 10.21685/2307-5538-2020-1-1.