

**Автоматизация процессов контроля и управления  
испытаниями опытных образцов  
ракетно-космической техники  
на испытательных полигонах заказчика**

**К. С. Иванов**, к. т. н., *kir.s.ivanov@gmail.com*

*ГИКЦ МО РФ им. Г. С. Титова, г. Краснознаменск, Московская обл., Российская Федерация*

**М. К. Бондарева**, д. т. н., доцент, *mkbond@mail.ru*

*ГИКЦ МО РФ им. Г. С. Титова, г. Краснознаменск, Московская обл., Российская Федерация*

**М. И. Жданович**, к. т. н., доцент, *zhdanovich-1964@mail.ru*

*ГК «Роскосмос», Москва, Российская Федерация*

**А. Н. Петренко**, *gikc.npk.@gmail.com*

*15 армия Воздушно-космических сил (особого назначения),  
г. Краснознаменск, Московская обл., Российская Федерация*

**Е. А. Стариков**, *contact@spacecorp.ru*

*АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация*

**Аннотация.** Проведен анализ существующих процессов контроля и управления испытаниями опытных образцов ракетно-космической техники на испытательных полигонах заказчика. Исследованы возможности их автоматизации и сформулированы требования к полигонным пунктам контроля и управления испытаниями. Рассмотрены возможности их последующей интеграции в систему информации о техническом состоянии, испытаниях и эксплуатации ВВТ космических войск. Результаты анализа показали, что усложнение и увеличение числа новейших образцов ракетно-космической техники приводит к существенному повышению нагрузки на эксплуатирующие организации, испытательные полигоны, головные научно-исследовательские организации, предприятия-разработчики (изготовители) и представителей заказчика. Проанализированы информационные потоки данных, необходимые для синтеза процессов по созданию опытных образцов. Обоснована необходимость повышения уровня автоматизации информационного сопровождения процессов выполнения опытно-конструкторских работ и испытаний опытных образцов за счет создания системы аппаратно-программных комплексов информационного обеспечения процессов контроля и управления, работающих с учетом единства их информационно-лингвистического обеспечения, что позволит взаимно увязать различные этапы создания опытных образцов, их эксплуатации, а также повысить информативность получаемых в их ходе данных и создать основу для построения информационно-управляющей системы.

**Ключевые слова:** космические системы и комплексы, испытания, опытный образец, полигон, система информации

## Automation of Control and Testing Processes for Prototypes of Rocket and Space Technology at Customer Test Sites

**K. S. Ivanov**, *Cand. Sci. (Engineering)*, [kir.s.ivanov@gmail.com](mailto:kir.s.ivanov@gmail.com)

*Main Trial Centre for Testing and Control of Space Means named after G. S. Titov,  
Krasnoznamensk, Moscow region, Russian Federation*

**M. K. Bondareva**, *Dr. Sci. (Engineering)*, *associate professor*, [mkbond@mail.ru](mailto:mkbond@mail.ru)

*Main Trial Centre for Testing and Control of Space Means named after G. S. Titov,  
Krasnoznamensk, Moscow region, Russian Federation*

**M. I. Zhdanovich**, *Cand. Sci. (Engineering)*, *associate professor*, [zhdanovich-1964@mail.ru](mailto:zhdanovich-1964@mail.ru)

*State Space Corporation ROSCOSMOS, Moscow, Russian Federation*

**A. N. Petrenko**, [gikc.npk@gmail.com](mailto:gikc.npk@gmail.com)

*15 army Aerospace Forces (special assignment), Krasnoznamensk, Moscow region, Russian Federation*

**E. A. Starikov**, [contact@spacecorp.ru](mailto:contact@spacecorp.ru)

*Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation*

**Abstract.** This article gives an analysis of the existing processes of control and testing of prototypes of rocket and space technology at customer test sites. The possibilities of their automation are investigated and the requirements for polygon control and test control points are formulated. The possibilities of their subsequent integration into the system of information on the technical condition, testing and operation of the Space Forces military hardware are considered. The results of the analysis showed that the complication and increase in the number of the latest rocket and space technology models leads to a significant increase in the burden on operating organizations, test sites, leading research organizations, development companies (manufacturers) and customer representatives. The information data flows necessary for the synthesis of processes for creating prototypes are analyzed. The authors analyze the necessity of increasing the level of automation of information support of the experimental design work and testing of prototypes substantiated by creating a complex of hardware and software systems for information support of control and management processes that work taking into account the unity of their information and linguistic support, which will allow one to relate the various stages of creation prototypes, their operation, as well as to increase the information content of the data obtained in their course and create the basis for building information management system.

**Keywords:** space systems and complexes, tests, prototype, testing site, information system

## Введение

Современные возможности (навигация, связь, ретрансляция, телевидение, дистанционное зондирование, разведка и др.), реализуемые космическими системами и комплексами (КС и КК), играют важнейшую роль в обеспечении обороноспособности Российской Федерации, конкурентоспособности целого ряда отраслей отечественной промышленности и предоставляемых услуг, а также формировании государственной системы управления в условиях информационного общества (через системы электронного документооборота и другие услуги). Крайне значимы они становятся для развития наукоемких технологий — исследований в области наноматериалов, космической физики и космологии.

Все это приводит к росту интенсивности развития КС и КК с практически геометрической прогрессией. Существенный вклад в наращивание численности орбитальных группировок (ОГ) космических аппаратов (КА) вносит и стремительное развитие индустрии малых КА, в том числе микроКА, уже сегодня выводящихся на орбиту зарубежными компаниями в сотнях единиц. Существенное увеличение создаваемых в интересах государственного заказчика образцов космической техники значительно повышает нагрузку на испытательные полигоны заказчика (ИП), а также организации, контролирующие процессы создания и предварительных испытаний опытных образцов КС и КК со стороны заказчика. К таким организациям можно отнести как ИП, головные научно-исследовательские организации (ГНИО) и представительства заказчика (ПЗ) при предприятиях разработчика (изготовителя), так и органы управления Федеральных органов исполнительной власти (ФОИВ), непосредственно принимающих решения по организационным (организационно-техническим) вопросам создания образцов КС и КК. Особую роль в процессе испытаний образцов КС и КК играет Государственная комиссия по проведению летных испытаний со своими органами, непосредственно руководящая всесторонней проверкой и подтверждением характеристик представляемых образцов, заданных в тактико-технических (ТТЗ) и технических (ТЗ) заданиях в условиях реального (максимально приближенного к реаль-

ному) функционирования, а также определяющая возможности решения КС и КК своих целевых задач в целом.

## Постановка задачи

Испытания, как правило, проводятся на основании программы испытаний по утвержденным методикам, являющимся приложением к указанной программе. Отдельные вопросы организации испытаний могут быть указаны в организационно-технических документах (например, в Положении об организации управления, Программе полета и т. д.).

Основой для управления и принятия решений органами, участвующими в испытаниях, является информация о состоянии опытного образца (ОО) в ходе испытаний. С учетом уникальности представляемых на приемочные испытания ОО и возможностей их дальнейшего приема в эксплуатацию, а также того, что ИП является, как правило, организацией, осуществляющей дальнейшую эксплуатацию КС и КК, появляется задача парирования нештатных и аварийных ситуаций, возникающих во время испытаний опытного образца, с целью его сохранения и продолжения испытаний, а также дальнейшего возможного приема в эксплуатацию.

В то же время опытный образец КС и КК представляет собой сложнейшую территориально распределенную структуру, создаваемую большой кооперацией предприятий-разработчиков (изготовителей), информационный обмен между которыми, а также между организациями ИП, ГНИО, ПЗ и ФОИВ, обладает существенно излишней информативностью и низкой адаптивностью к складывающимся ситуациям. Проведенный анализ показывает, что представляемый в настоящее время объем информации для анализа и принятия решений превышает значение, обеспечивающее наивысшую эффективность принятия решения (при существующих методах обработки и анализа), однако объемы представляемой информации достаточно близки к приемлемому уровню. Дальнейшее увеличение информационных потоков в существующей системе управления снижает эффективность управленческих решений при увеличении времени на их принятие, что описывается законом зависимости

эффективного решения задач управления от объема используемой информации [1, 2]. С учетом специфики создания и испытаний КС и КК, уникальности их образцов, числа специалистов и организаций, участвующих в испытаниях, такая ситуация приводит к снижению качества и оперативности принимаемых решений и, как следствие, увеличению сроков и снижению качества испытаний КС и КК [3–5].

Для устранения указанных недостатков и качественного проведения государственных испытаний (ГИ) необходим системный подход к сбору и обработке как информации, получаемой в ходе ГИ, так и информации, способной повлиять на эффективность (оперативность) принимаемых решений и получаемой в ходе предварительных испытаний (ПрИ), а также статистического анализа предыдущих испытаний. При этом продолжает появляться информация, получаемая апостериорно, которую также необходимо учитывать [6, 7].

При этом весьма важно обеспечить достоверность получаемой информации. С учетом объемов имеющихся информационных потоков и существующей организационно-штатной структуры сбор, обработка и анализ информации могут выполняться только с использованием средств автоматизации.

## Решение задачи

Сбор информации должен осуществляться на всех этапах, начиная с процесса разработки ТТЗ. На этих этапах заказчик задает основные тактико-технические (технические) характеристики изделия и его требуемый уровень надежности. Разработчик закладывает эти характеристики в изделие, обеспечивает необходимый уровень технологичности проектируемого изделия, проводит комплекс необходимой наземной экспериментальной отработки и ПрИ для подтверждения правильности выбранных им технических решений при создании изделия. Производитель обеспечивает достижение заложенных заказчиком и разработчиком характеристик. Государственная комиссия совместно с ИП, ГНИО, ПЗ определяет степень соответствия полученного ОО заявленным требованиям заказчика. Эксплуатирующая организация сохра-

няет заданные заказчиком, заложенные разработчиком и обеспеченные производителем характеристики изделия [2, 5]. Таким образом, разнотипная информация о характеристиках изделия содержится в различных организациях, а значит, для эффективного управления качеством создаваемого образца необходимо их автоматизированное взаимодействие. Оно может осуществляться по уже существующим сетям связи, в том числе с использованием сетей ПАО «Ростелеком» и систем передачи данных ФОИВ (рис. 1).

Обработка получаемой информации должна проводиться ГНИО заказчика и на ИП. В центрах управления ФОИВ, органах управления ПЗ с учетом специфики их работы целесообразно осуществлять формализованное отображение хода выполнения опытно-конструкторской работы (ОКР) по созданию ОО. С учетом того, что на предприятии-разработчике (изготовителе), как правило, для анализа информации используются специализированные информационно-вычислительные системы (в том числе стенд главного конструктора), целесообразно размещение на них и в ПЗ при них комплексов информационного обеспечения и обмена. Обмен информацией между ними должен осуществляться с соблюдением принципов единства информационно-лингвистического обеспечения. Особое место в такой системе будут занимать испытания специального программного обеспечения, которое, с учетом вышеизложенного, будет иметь сложную структуру информационного сопровождения [4].

ИП при этом должен быть способен осуществлять управление циклом летных испытаний КС и КК. С учетом того, что на существующий пункт управления ИП и его комплекс средств автоматизации в первую очередь возлагается задача управления применением, представляется целесообразным выделение отдельного пункта управления испытаниями в составе подразделений, непосредственно руководящих и (или) осуществляющих методическое обеспечение испытаний.

Исходными данными для контроля проведения испытания на ИП будут являться ТТЗ (ТЗ), программно-методические и организационно-технические документы, материалы анализа предыдущих испытаний (при необходимости). До начала

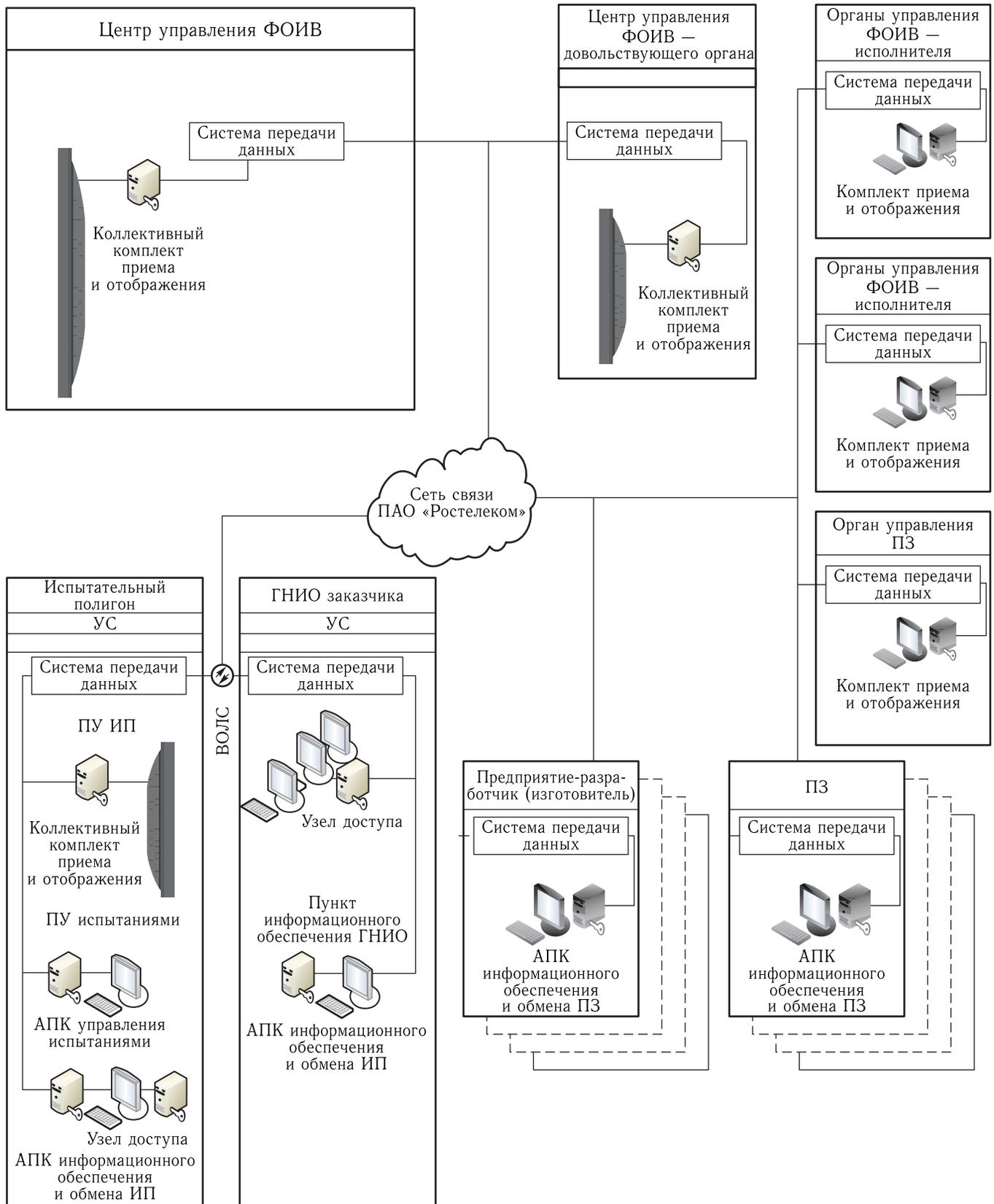


Рис. 1. Схема взаимодействия абонентов, участвующих в создании и испытаниях КС и КК

испытаний, в ходе разработки (согласования) указанных документов, целесообразно использование материалов анализа предыдущих (в том числе ПриИ) испытаний для проверки изделий образца, заложенные характеристики которого заведомо могут не соответствовать требованиям заказчика или требуют дополнительной проверки в натурных условиях [8]. Общий контроль за ходом создания образца при этом может осуществляться с использованием совокупности ведомостей исполнения изделия и его составных частей. Формализация процесса может быть представлена в виде массива исполнения размера  $(M \times n)$ , где  $M$  — число этапов ведомости исполнения ОКР по созданию КС (КК),  $n$  — число составных частей на нее. Для каждого элемента массива может существовать подмассив такого же типа. Совокупность подмассивов в этом случае будет представлять собой многомерный массив, отражающий работы, проводимые предприятием-разработчиком (изготовителем) на следующем уровне кооперации.

Планирование и контроль проведения испытаний при этом может проводиться с использованием матрицы испытаний — прямоугольной таблицы, строки которой отвечают проводимым испытаниям, столбцы — пунктам ТТЗ (ТЗ), на подтверждение которых они направлены. В перспективе такой подход позволяет строить матрицы спектра плана и матрицы дублирования. Дальнейшая автоматизация процессов контроля и управления испытаниями опытных образцов КС и КК с уче-

том представленной схемы взаимодействия абонентов (см. рис. 1) и использования многомерных массивов исполнения позволит построить сквозные матрицы испытаний (объединяющие весь процесс испытаний и экспериментальных исследований). В целом это существенно изменяет процесс информационного сопровождения испытаний и позволяет говорить о возможности создания модели испытаний.

На абонентские комплексы коллективных комплектов приема и отображения ФОИВ и ИП возлагаются задачи отображения состояния создания (испытаний) КС и КК по определенным руководящими документами форматам, например ведомостям исполнения (рис. 2).

При этом может осуществляться оповещение (сигнализирование) отставания от планов создания (испытаний), переносах сроков и другой, в том числе неформализованной информации, получаемой от внешних абонентов. Этапность отображения при этом может соответствовать этапам выполнения ОКР по созданию КС и КК (рис. 3). Выводимые на экран отображения мероприятия (строки таблицы на рис. 3) выбираются оператором или системой автоматически, в зависимости от динамики и сроков выполнения этапов, а также формируемых запросов, что определяется логикой специального программного обеспечения. На ИП и ГНИО целесообразен расширенный учет указанных процессов (рис. 4).

При этом учитываются как графики выполнения опытно-конструкторской работы, так и дого-

№ п/п	Наименование ОКР	Шифр	Этап выполнения	Срок проведения	Отработка (по плану)	Вопросы, требующие контроля и решения	Дополнительная информация
1	Разработка и создание космической системы дистанционного зондирования Земли	«РРР»	1. Летные испытания изделия 14Ф444 №703. 2. Разработка РКД изделия 14Ф555	01.01.2010 — 01.01.2019	64/84	!	✘
2	Разработка космической системы связи	«МММ»	Эскизное проектирование	01.01.2010 — 01.01.2019	16/12	НЕТ	✔

Переход к общей информации по ОКР /2.1

Переход к графику выполнения этапа и справочной информации /2.2

Переход к информации по срокам проведения этапов /2.2

Переход к плану-графику выполнения ОКР и ведомости исполнения /2.3

Переход к информации по проблемным вопросам

Информация о своевременности представления информации о выполнении мероприятия или причинах невыполнения

Рис. 2. Пример отображения состояния создания (испытаний) КС и КК на ИП

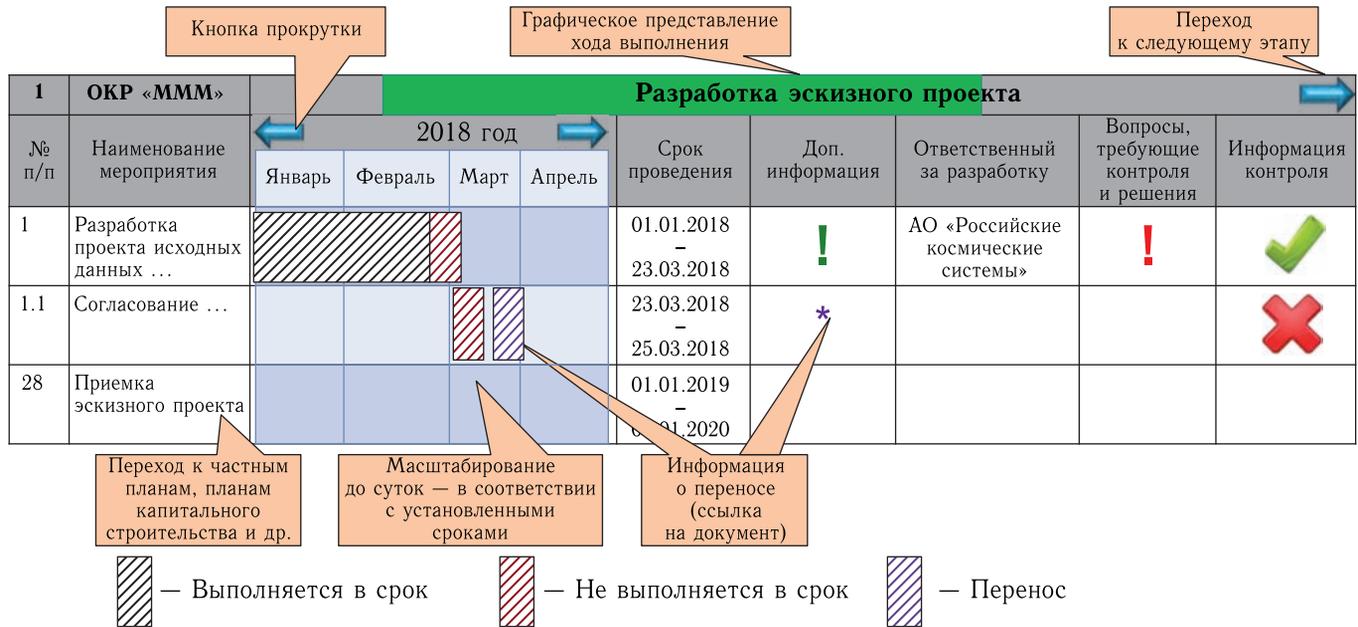


Рис. 3. Пример отображения состояния создания (испытаний) КС и КК – создание эскизного проекта

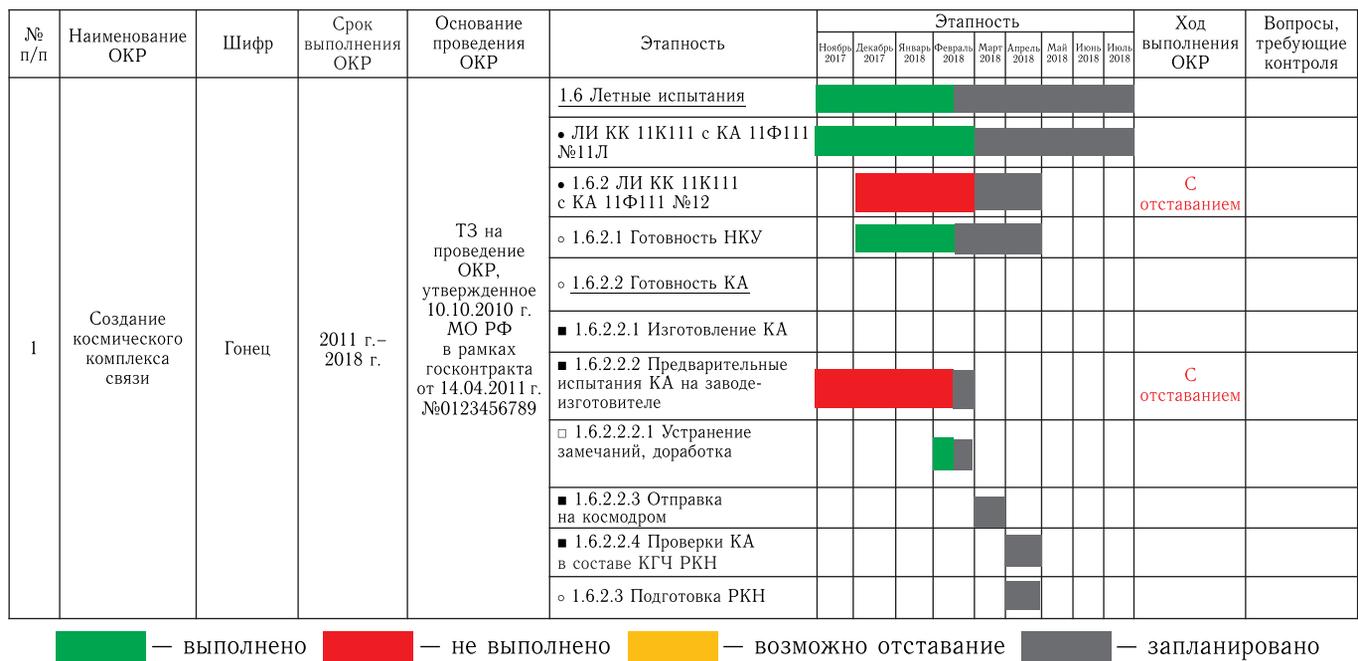


Рис. 4. Пример отображения состояния создания (испытаний) КС и КК на ИП (ГНИО)

точные графики, графики предприятий и их кооперации.

Такая система позволяет осуществлять взаимную увязку и априорный анализ хода создания (испытаний) КС и КК и их составных частей, что да-

ет возможность принимать упреждающие решения, нивелирующие отставание, а также при необходимости осуществлять коррекцию программно-методической и организационно-технической документации по проведению испытаний КС и КК [9, 10].

Перечень получаемой информации в этом случае должен определяться системой информации о техническом состоянии, испытаниях и эксплуатации КС и КК. Дальнейшее внедрение систем электронного документооборота, в том числе установка терминалов на абонентских станциях ИП, ГНИО и предприятиях-разработчиках (изготовителях), позволит осуществлять хранение цифровых копий указанных документов на серверах комплексов информационного обеспечения и обмена.

Достоверность информации обеспечивается ее получением из различных источников, разнотипностью, а также использованием формализованных данных автоматизированных систем — внешних по отношению к пункту управления испытаниями абонентов (например, распределенной системы оперативного координационного планирования применения технических средств наземного автоматизированного комплекса управления, центров управления полетом КА, стендов главного конструктора) через соответствующие узлы обмена.

Такой подход позволит при необходимости осуществлять исследовательские испытания на опытных образцах и повысить эффективность государственных испытаний за счет взаимоувязки всех этапов создания КС и КК. Кроме того, имеющаяся информация способна существенно повысить эффективность управленческих решений при парировании нештатных ситуаций, возникающих в период эксплуатации КС и КК, при включении в ее структуру (в качестве внешних абонентов) аппаратно-программных комплексов пунктов (центров) управления эксплуатирующих организаций и органов управления эксплуатацией.

## Заключение

В условиях усложнения КС и КК, а также увеличения новейших образцов ракетно-космической техники происходит существенное повышение нагрузки на эксплуатирующие организации, ИП, ГНИО, предприятия-разработчики (изготовители) и ПЗ при них. Пропорционально этой нагрузке увеличиваются информационные потоки с данными, необходимыми для достижения целей опытно-конструкторских работ по созданию КС и КК. Поэтому

необходимо повышение уровня автоматизации информационного сопровождения процессов выполнения опытно-конструкторских работ и испытаний опытных образцов. Это возможно за счет создания системы аппаратно-программных комплексов информационного обеспечения процессов контроля и управления, работающих с учетом единства их информационно-лингвистического обеспечения. Такой подход позволяет взаимно увязать различные этапы создания КС и КК и их эксплуатации, повысить информативность получаемых в их ходе данных и создать основу для построения информационно-управляющей системы.

## Список литературы

1. Управление подразделениями в мирное время: Учебник / Под ред. Ю. Ф. Кириллова. М.: Голден Би, 2007. 256 с.
2. Александровская Л. Н., Круглов В. И., Кузнецов А. Г. и др. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем. М.: Логос, 2003. 736 с.
3. Иванов К. С. Научно-методический подход к совершенствованию системы испытаний специального программного обеспечения наземных комплексов управления космическими аппаратами. XIX научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов // Материалы XIX научно-технической конференции молодых ученых и специалистов Ракетно-космической корпорации «Энергия» имени С. П. Королева, 2011. Сер. XII. Расчет, проектирование, конструирование и испытания космических систем. Вып. 3. С. 83–87.
4. Ермолаев В. А., Саакян А. П., Иванов К. С., Бондарева М. К. Вопросы повышения качества управления эксплуатацией средств наземного автоматизированного комплекса управления // Сб. трудов VIII Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий» / Под ред. д. т. н., проф. А. А. Романова. М.: АО «РКС», 2016. С. 331–338.
5. Разработка систем космических аппаратов / Под ред. П. Фортескую, Г. Суайнерда, Д. Старк; пер. с англ. М.: Альпина Паблицер, 2016. 764 с.
6. Иванов К. С., Бондарева М. К. Метод идентификации дефектов бортовых программных комплексов

- анализа информации космических аппаратов дальних космических миссий // Труды X Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'15 М.: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2015 С. 967–979.
7. *Бондарева М.К., Ермолаев В.А., Иванов К.С.* Методические аспекты управления государственными испытаниями космических систем и комплексов // Вопросы контроля хозяйственной деятельности и финансового аудита, национальной безопасности, системного анализа и управления. Сб. материалов III Всероссийской научно-практической конференции. ФГБНУ «Аналитический центр Минобрнауки России», 2018. С. 107–110.
  8. *Куренков В.И., Салмин В.В., Прохоров А.Г.* Методика выбора основных проектных характеристик и конструктивного облика космических аппаратов наблюдения: Учеб. пособие. Самара: Изд. Самарского государственного аэрокосмического университета, 2007. 160 с.
  9. *Мануйлов Ю.С., Павлов А.Н., Новиков Е.А. и др.* Системный анализ и организация автоматизированного управления космическими аппаратами / СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. 266 с.
  10. *Токарев В.В.* Методы оптимальных решений. в 2 т. Т. 2. Многокритериальность. Динамика. Неопределенность. 2-е изд., испр. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 420 с.