

УДК 629.7.084

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ОБЛИКА СИСТЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Степенко А.Н., Шаповалов Д.В., Щербина И.С., Басотин Е.В.

ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»,  
Санкт-Петербург, e-mail: vka@mil.ru

В данной статье описывается общая методология обоснования облика системы эксплуатации ракетно-космического комплекса. Рассмотрены особенности функционирования системы эксплуатации как много-элементной сложной организационно-технической системы и необходимость использования методов функционального моделирования для ее адекватного описания. Этот подход имеет ряд преимуществ и позволяет рассматривать процесс функционирования системы эксплуатации независимо от конкретного оборудования, точно сформировать логику и структуру взаимодействия элементов системы между собой и с внешней средой. В качестве инструмента для разработки функциональной модели использована методология структурного анализа и проектирования IDEF0. Отличительной особенностью разработанной модели является функциональная связь системы эксплуатации и системы ее обеспечения материальными средствами, а также учет в контуре обратной связи по управлению результатов выполнения целевых задач. Разработанная функциональная модель способна обеспечить полное представление обо всех протекающих в системе процессах: информационном обмене, использовании материалов, эксплуатирующего персонала документации и других ресурсов. Предложенная модель в дальнейшем может быть использована в качестве основы для разработки комплекса имитационных моделей, учитывающих характеристики типовых технологических операций и позволяющих оценивать комплексные или единичные показатели качества функционирования системы эксплуатации: вероятность своевременного решения целевой задачи за заданное время, продолжительность работ, численность, состав и динамику изменения расчетов, объем привлекаемых ресурсов и стоимость выполняемых мероприятий.

**Ключевые слова:** функциональная модель, система эксплуатации, ракетно-космический комплекс, система обеспечения материальными средствами, метод структурного анализа и проектирования

## THE FUNCTIONAL MODELING METHODS USING TO JUSTIFICATION THE SPACE AND ROCKET COMPLEX OPERATION SYSTEM APPEARANCE

Stepenko A.N., Shapovalov D.V., Scherbina I.S., Basotin E.V.

Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education Mozhaysky Military Space Academy,  
Saint-Petersburg, e-mail: vka@mil.ru

The article describes a general methodology of the space and rocket complex operation system appearance justification. It discusses the features of operation system functioning as a complex multi-element organizational and technical system and the necessity of functional methods using to its correct modelling. This approach has a number of advantages and allows to considering operational system functioning process apart from specific equipment and to formulate framework and logic in the interactions «element-element», «element-external environment». As the tool of system functional model developing the Structured Analysis and Design Technique methods, namely IDEF0 notation, is used. The distinctive feature of the developed model is the functional connection existence between the space and rocket complex operational system and acquisition one and using the feedback loop with the model output, which describes the system goals accordance. The developed model allows to provide complete information about the system processes: data exchange, material utilization, personnel involvement and other resources utilization. The proposed model will be apply in perspective as a base to developing a set of simulation models, addresses the typical technological operations characteristics and allows estimating the aggregate and individual operation system quality indicators, such as space rocket launch probability, operation duration, staff number, they composition and dynamics of change, amount of resources and operations cost.

**Keywords:** functional model, operation system, space and rocket complex, acquisition system, structured analysis and design technique methods

Создание или модернизация любой сложной организационно-технической системы предполагает формирование ее желаемого облика, под которым будем понимать совокупность функциональной, морфологической, технической, информационной и организационной структур. Опыт исследования организационно-технических систем свидетельствует о том, что несоответствие фактических результатов функционирования зачастую является не столько следстви-

ем ошибочных действий исполнителей, управленческого персонала или низкого качества технических систем, сколько неверным определением рациональной структуры и функций, исполняемых элементами системы, их информационных и материальных взаимосвязей.

Система эксплуатации ракетно-космического комплекса (СЭ РКК) является сложной организационно-технической системой, включающей в себя взаимосвязанные

элементы РКК, эксплуатационную, нормативно-техническую и руководящую документацию и эксплуатирующий персонал. СЭ не является изолированной системой, она тесно связана с внешними системами, обеспечивающими ее функционирование, системами высшего уровня иерархии (управляющими системами) или системами – потребителями полезного эффекта [1].

В подобных условиях, характеризующихся большим количеством внутренних и внешних взаимосвязей, наличием собственных целей, задач и критериев эффективности функционирования у каждой взаимодействующей системы неизбежно возникновение конфликтных ситуаций между элементами системы, дублирование некоторых задач или, наоборот, их невыполнение. Многообразие способов построения или вариантов модернизации СЭ в условиях уникальности и, как следствие, высокой стоимости эксплуатируемых систем, являются основанием для построения и исследования моделей, описывающих процесс функционирования СЭ РКК и позволяющих сформировать эффективные управленческие решения.

В определении облика СЭ РКК функциональный подход выполняет преимущественно роль главного процесса. Функциональный подход заставляет разработчика такой системы точно определить: какая генеральная цель (цели) стоят перед системой, на какие подцели целесообразно декомпозировать генеральную цель, какие задачи необходимо решить для достижения цели в рамках проектируемой системы. Подобный подход к формированию структуры и логики взаимодействия процессов, протекающих в ОТС, является принципиальным и позволяет провести анализ выполняемых системой функций независимо от входящих в нее конкретных объектов. С учетом достаточно богатого отечественного практического опыта эксплуатации ракетно-космической техники, анализа мировой практики разработки и эксплуатации РКК задача формулирования цели, ее декомпозиции не представляется нерешаемой.

Таким образом, основной задачей функционального моделирования можно считать разработку и графическое представление некоторой, в зависимости от методологии, схемы, которая связывает выходные параметры СЭ РКК с входными, осознать важность системы, определить ее место, оценить внутренние взаимосвязи элементов, сформировать корректное понимание внешних связей системы, необходимых для реализации функций управляющих воздействий и ресурсов [2].

Будучи построенной, функциональная модель способна обеспечить полное представление как о функционировании обследуемого (проектируемого) процесса, так и обо всех имеющихся в нем потоках информации, материалов, документации и других ресурсов. Подобная модель в дальнейшем может быть использована в качестве основы для разработки комплекса имитационных моделей с детализацией до элементарных технологических операций, имеющих комплексные или единичные конкретные показатели (продолжительность и стоимость выполняемых операций, количество и состав используемых ресурсов, численный состав и структура эксплуатационных расчетов).

Целью исследования является разработка модели функционирования СЭ РКК с использованием методологии SADT в нотации IDEF0, позволяющей сформировать ее функциональную структуру, учитывающую совместное функционирование СЭ и системы обеспечения процесса эксплуатации материальными средствами (МС), а также возможность использования результатов оценивания показателей качества решения СЭ РКК целевых задач для внесения корректировок в механизмы управления как эксплуатационными, так и обеспечивающими процессами.

*Функциональная модель  
системы эксплуатации  
ракетно-космического комплекса*

Облик СЭ РКК формируется на основе анализа общей цели создания системы, доступных технологий управления техническим состоянием оборудования, анализа опыта эксплуатации и перспектив развития, схожих по решаемым задачам зарубежных систем. Функциональное описание, как один из аспектов сложной организационно-технической системы, отражает порядок или общий алгоритм функционирования системы, процессы и последовательность решения частных задач, функциональную взаимосвязь моделируемой системы с внешними системами, обеспечивающими ее функционирование. В соответствии с принципом системности [3] в качестве условий адекватного исследования любой сложной системы необходимо учитывать взаимосвязь ее элементов и связь с множеством других объектов, а также функционирование и развитие любой сложной системы в результате взаимодействия с окружающей средой при примате внутренних закономерностей объекта над внешними.

Сложность и высокая стоимость РКК, наличие большого количества взаимосвязанных подсистем и решаемых ими задач

обуславливают необходимость наглядного представления широкого спектра протекающих в системе процессов и операций на любом уровне детализации с целью их совершенствования и повышения эффективности функционирования всей системы. Для наглядного описания таких организационно-технических систем, как СЭ РКК, может быть использована хорошо зарекомендовавшая себя на практике методология ICAM Defenition (сокр. – IDEF) описанная в официально принятых рекомендациях по применению методологии IDEEF0 [4].

Целью методологии является построение функциональной схемы исследуемой системы, описывающей все необходимые процессы с точностью, достаточной для однозначного моделирования деятельности системы. Другими словами, в IDEF0 моделируемая система представляется как совокупность взаимосвязанных работ (функций, активностей). Методология IDEF0 получила столь широкое распространение в бизнес-моделировании потому, что эта методология легко представляет такие системные характеристики, как управление, обратная связь, ресурсы и исполнители [5]. С точки зрения системного подхода функционирование СЭ РКК целесообразно рассматривать с позиций суперсистемы – системы оказания пу-

сковых услуг, включающей в себя СЭ РКК и систему обеспечения ее материальными средствами (МС) (рис. 1).

Полноценная реализация эксплуатационных процессов, начиная от подготовки эксплуатирующего персонала (ЭП) и заканчивая проведением пуска РКН, существенно зависит от поставок материальных средств МС. Под МС в рамках данной модели понимаются составные части ракеты космического назначения (РКН), запасные части, инструмент и принадлежности (ЗИП), материалы, расходуемые при применении по назначению, а также объекты наземной космической инфраструктуры (ОНКИ), на которых проводятся операции приведения, поддержания в готовности и пуск РКН и размещенное на них технологическое оборудование РКК (ТлОб). Процесс оказания пусковых услуг осуществляется в соответствии с положениями Федеральной космической программы (ФКП), Государственной программы вооружений (ГПВ), а также нормативных правовых (НПА) актов РФ, руководящих, эксплуатационных (ЭД) и нормативно-технических документов (НТД) по вопросам эксплуатации РКК. Взаимосвязи системы поставки МС для эксплуатации РКК и СЭ РКК приведены на диаграмме (рис. 2).

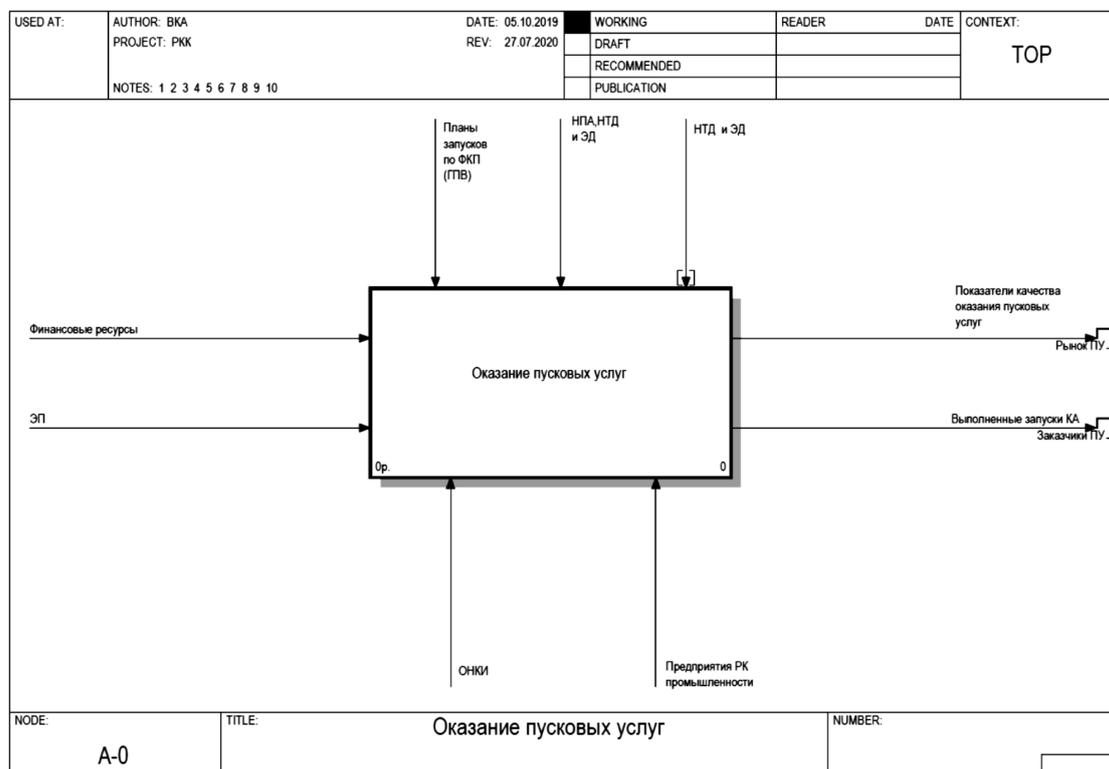


Рис. 1. Контекстная диаграмма системы оказания пусковых услуг

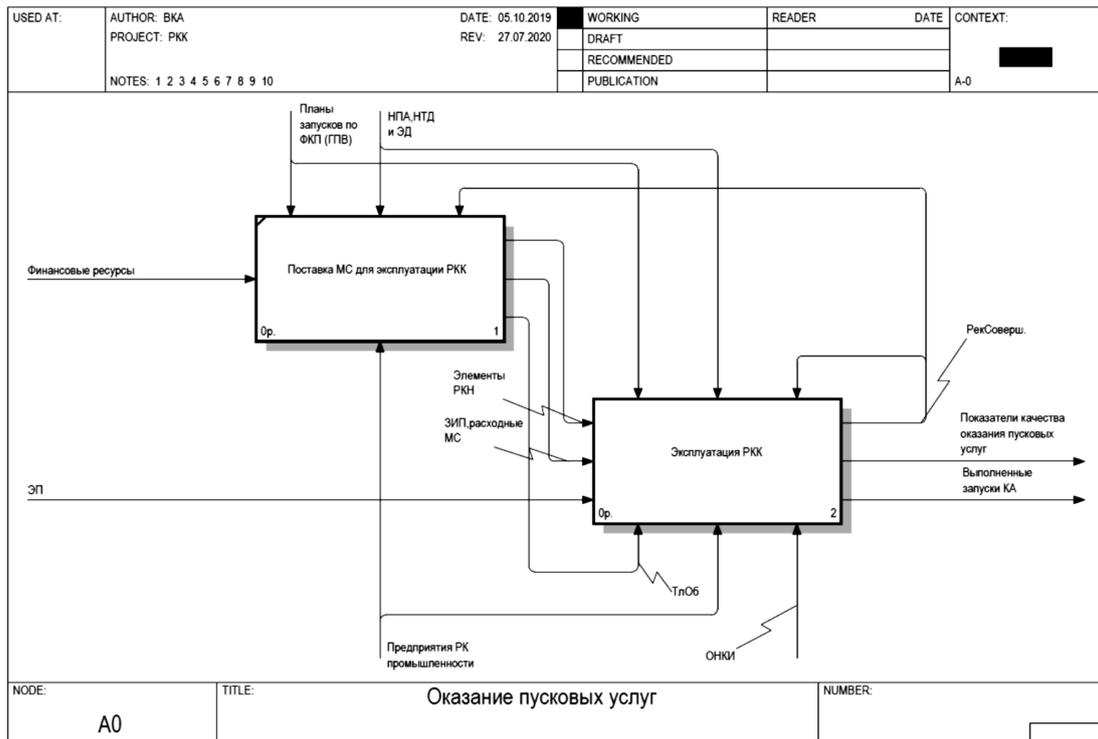


Рис. 2. Диаграмма связи системы поставки МС и СЭ РКК: ЗИП, МС – запасные инструменты и принадлежности, материальные средства; РК промышленность – ракетно-космическая промышленность; РекСоверш. – рекомендации по совершенствованию

На представленной диаграмме в соответствии с методологией IDEF0 элементы РКН (ступени, разгонный блок и космический аппарат (КА)), ЗИП и расходные МС являются выходами блока «Поставка МС для эксплуатации РКК» и затем, в блоке «Эксплуатация РКК», преобразуются в РКН и в полезный эффект в виде запуска космического аппарата (КА). Выход ТлОб блока «Поставка МС для эксплуатации РКК» в блоке «Эксплуатация» используется уже в качестве «механизма» (в терминологии IDEF0), преобразующего входы блока в полезный эффект. Кроме описания формальных результатов эксплуатации технических систем, приведенных в ранее разработанных моделях [6], в данной модели выходами блока «Эксплуатация» являются не только проведенные запуски КА, но и показатели качества функционирования СЭ и рекомендации по совершенствованию процессов, выполняющие роль обратной связи по управлению с блоками «Поставка МС для эксплуатации РКК» и дочерними блоками диаграммы А2 «Эксплуатация РКК» (рис. 3).

На представленной на рис. 3 диаграмме приведены основные этапы эксплуатации

РКК, расположенные в последовательности их прохождения.

Отметим, что все эксплуатационные процессы начинаются с подготовки эксплуатирующего персонала (ЭП), участвующего далее на всех этапах в качестве «механизма» реализации эксплуатационных процессов. Подготовка ЭП должна проводиться преподавателями с использованием учебно-тренировочных средств (УТС), что в дальнейшем может быть использовано в качестве требования, предъявляемого к проектируемой организационной структуре эксплуатационных подразделений.

Применение по назначению РКК в виде проведения запуска КА должно заканчиваться составлением отчета о проведенных работах, поступающего для анализа качества функционирования СЭ и обеспечивающей ее системы поставок МС. Решение задачи анализа качества функционирования СЭ должно состоять в оценке степени соответствия промежуточных результатов обеспечивающих процессов, каждого этапа эксплуатации и итоговых показателей качества оказания пусковых услуг требованиям, предъявляемым контрактом или техническим заданием.

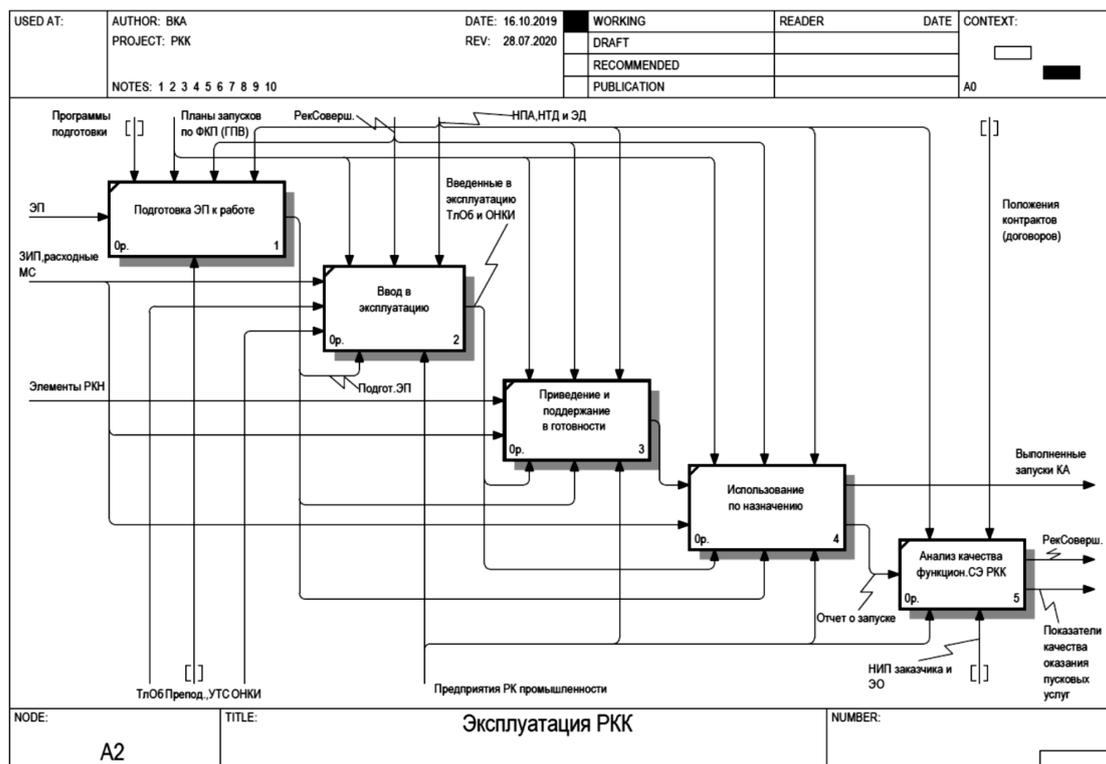


Рис. 3. Диаграмма связи системы поставки МС и СЭ РКК: УТС – учебно-тренировочные средства; НИП – научно-исследовательские подразделения; ЭО – эксплуатирующая организация

Результаты анализа должны быть использованы для формирования рекомендаций по улучшению деятельности всех участников обеспечивающих и эксплуатационных процессов и направлены на оптимизацию процессов поставки ЗИП и МС, сокращению количества неисправностей и времени их устранения на стадии подготовки к запуску, повышению уровня безопасности эксплуатации РКК. Разработку таких рекомендаций необходимо проводить силами совместных экспертных групп, включающих представителей научно-исследовательских подразделений (НИП) заказчика, эксплуатирующей организации и ракетно-космической (РК) промышленности.

### Результаты исследования и их обсуждение

Результатом проведенного исследования является разработка модели совместного функционирования системы поставки МС для эксплуатации РКК и СЭ РКК, которая может быть использована при обосновании облика СЭ и формирования требований к организационной, технической и информационной структурам СЭ. С помощью методологии IDEF0 наглядно пред-

ставлены основные функции, реализуемые СЭ РКК – подготовка ЭП, ввод РКК и его составных частей в эксплуатацию, приведение элементов РКК в установленную готовность к использованию по назначению, содержание его в этой готовности и использование по назначению. Данная модель обсуждалась в ходе двух всероссийских научно-практических конференций, посвященных проблемам создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники.

### Заключение

Разработанная функциональная модель является первым этапом алгоритма решения задачи повышения эффективности функционирования СЭ РКК за счет совершенствования функциональной и, как следствие, организационной и информационной структур СЭ РКК. Выбор методологии IDEF0 обусловлен, прежде всего, ее наглядностью и достаточной полнотой используемого инструментария, позволяющего провести анализ достаточно сложных ОТС с точки зрения оценивания состояния систем «как есть» и обоснования наиболее перспективных направлений их реинжиниринга.

### Список литературы

1. Архипова Н.В., Кобызев С.В. Изучение актуального подхода к построению функциональных моделей организационно-технических систем при подготовке специалистов ракетно-космической отрасли // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2016. № 03. [Электронный ресурс]. URL: <https://engineering-science.ru/doc/835495.html> (дата обращения: 17.08.2020).

2. Замятина О.М. Моделирование систем: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. 204 с.

3. Резников Б.А. Системный анализ и методы системотехники. Методология системных исследований. Модели-

рование сложных систем. Ч. 1. М.: Изд-во МО СССР, 1990. 522 с.

4. Р 50.1028-2001 Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. М.: Стандартинформ, 2014. 78 с.

5. Горбаченко В.И., Убиенных Г.Ф. Создание функциональной модели информационной системы с помощью CASE-средства CA ERwin Process Modeler 7.3. Пенза: ПГУ, 2010. 66 с.

6. Киселев Д.Ю., Киселев Ю.В., Вавилин А.В. Функциональное моделирование на базе стандарта IDEF0: метод. указания. Самара: Изд-во СГАУ, 2014. 20 с.