

## Структура научно-методического аппарата обоснования тактико-технических требований к унифицированным космическим платформам

### Structure of the scientific and methodical device of justification of tactical technical requirements to the unified space platforms

#### Денисов / Denisov A.

Андрей Михайлович  
(vka@mail.ru)

кандидат технических наук, доцент.  
ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского» МО РФ (ВКА им. А. Ф. Можайского),  
начальник научно-исследовательского отдела.  
г. Санкт-Петербург

#### Скворцов / Skvortsov D.

Дмитрий Валерьевич  
(vka@mail.ru)

кандидат технических наук.  
ВКА им. А. Ф. Можайского,  
начальник научно-исследовательской лаборатории.  
г. Санкт-Петербург

#### Краснощеков / Krasnoshchekov S.

Сергей Николаевич  
(vka@mail.ru)

кандидат военных наук.  
ВКА им. А. Ф. Можайского,  
старший научный сотрудник.  
г. Санкт-Петербург

#### Гончаров / Goncharov P.

Павел Сергеевич  
(vka@mail.ru)

кандидат технических наук.  
ВКА им. А. Ф. Можайского,  
начальник научно-исследовательского отдела.  
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: унифицированная космическая платформа – unified space platform, тактико-технические требования – tactical technical requirements, математическая модель – mathematical model.

Рассмотрена общая схема проведения исследований по обоснованию тактико-технических требований (ТТТ) к унифицированным космическим платформам (УКП). Проведен анализ особенностей задания ТТТ к УКП как обеспечивающего модуля КА. Представлена структура комплекса математических моделей для обеспечения разработки перспективных КА на основе УКП.

The general scheme of carrying out researches on justification of TTR to the unified space platforms (USP) is considered. The analysis of features of the TTR task to USP as the providing SA module is carried out. The structure of a complex of mathematical models for ensuring development of perspective SA based on USP is provided.

Одной из мировых тенденций в области создания космической техники является широкое использование унифицированных космических платформ (УКП) в качестве обеспечивающего модуля космических аппаратов (КА). Многие отечественные предприятия-разработчики КА ведут работы по созданию и производят УКП. Следует отметить, что отсутствие

единого подхода к обоснованию тактико-технических требований (ТТТ) к УКП обуславливает наличие следующих проблемных вопросов:

- создание аналогичных по назначению космических платформ разными предприятиями, что фактически ведет к двойному финансированию разработок государственным заказчиком;
- недостаточный уровень унификации (по сравнению с требуемыми и рациональными);
- отставание технического уровня ряда платформ от общемирового. Так, до сих пор производятся и проектируются УКП с герметичными отсеками, в системах электроснабжения зачастую применяются кремниевые фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), а в системе обеспечения теплового режима слабо используются пассивные средства, такие как тепловые аккумуляторы, теплосоппротивления, тепловые трубы и т.п.

Задача обоснования ТТТ к УКП может быть представлена в виде совокупности частных, взаимосвязанных единым замыслом задач, решение которых выполняется последовательно на различных этапах научных исследований [1]. На каждом этапе такого процесса обосновываются группы требований к характеристикам перспективных УКП, которые затем уточняются и в итоге обобщаются в тактико-техническом задании (ТТЗ) на создание космической системы (КС), космического комплекса (КК) или КА. Декомпозиция

задачи обоснования ТТТ на ряд взаимоувязанных задач, решаемых последовательно, является оправданной и закономерной, поскольку отражает объективный процесс накопления знаний и уменьшение неопределенности в отношении исследуемых объектов. На рис. 1 представлено место научно-методического аппарата обеспечения создания КА на основе УКП в обосновании требований к КС.

Основным отличием методологии задания требований по назначению к УКП от методологии задания требований к КА является задающий субъект. Источником

задания требований по назначению к УКП выступает целевая система (рис. 2), что обуславливает основные принципы классификации и систематизации предъявляемых к УКП ТТТ. Другими словами, основным классификационным признаком для задачи синтеза требуемых характеристик УКП должна выступать совокупность ТТТ, необходимых для обеспечения нормального функционирования целевой системы (ЦС) как сложной технической системы.

Все требования назначения любой ЦС и УКП можно разделить на четыре группы, которые фактически

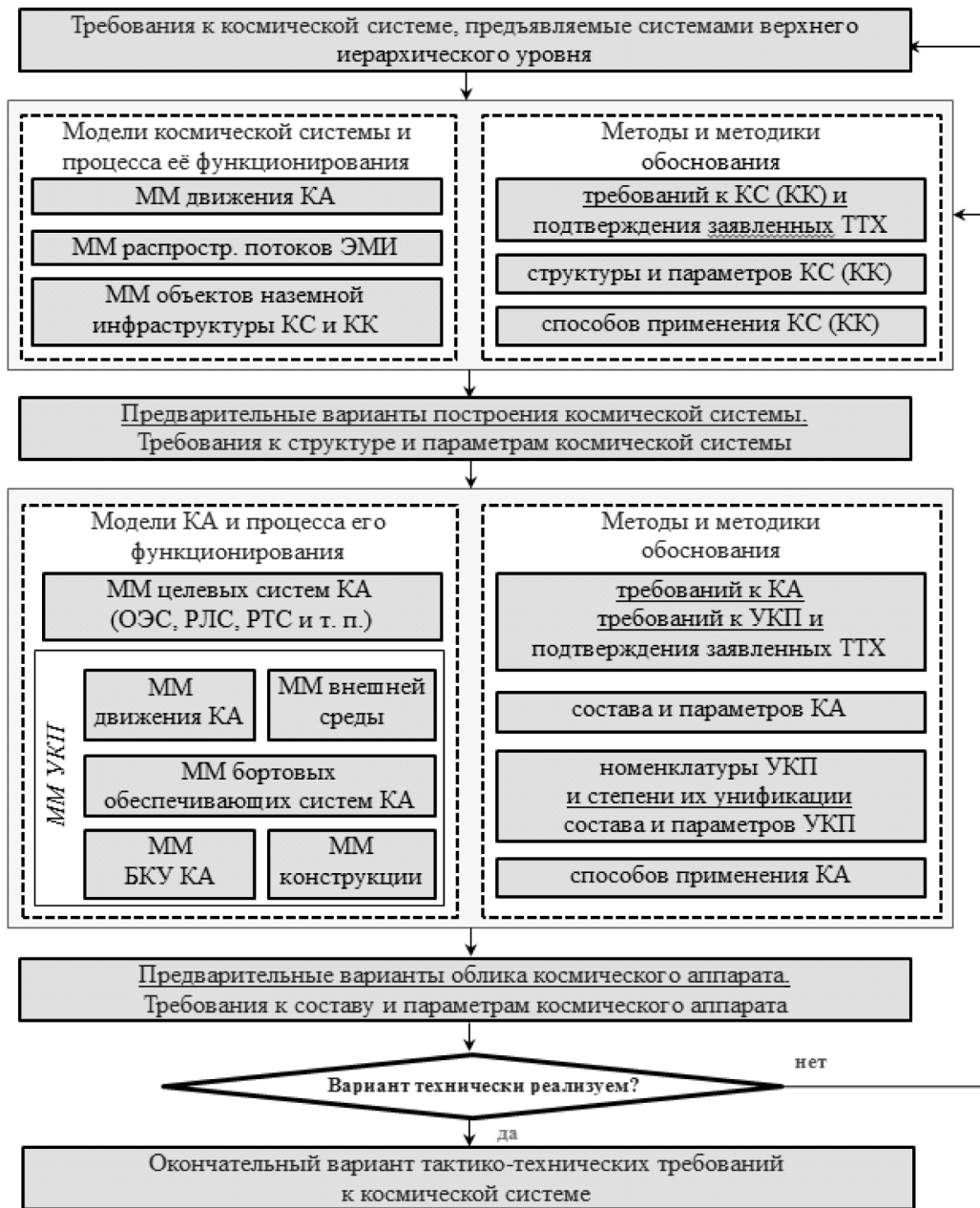


Рис. 1. Место научно-методического аппарата обеспечения создания КА на основе унифицированных космических платформ в процессе обоснования требований к космической системе



Рис. 2. Структура предъявления требований к ЦС и УКП

отражают требования к интерфейсам сопряжения:

- требования к мощности и циклограмме электропитания (интерфейс электроснабжения);
- требования к отводу (подводу) тепла (тепловой интерфейс);
- требования к режиму информационного обмена (информационный интерфейс);
- требования к пространственной ориентации на орбите функционирования (обеспечивается посредством механического интерфейса ЦС с УКП).

Таким образом, различие УКП для КА различного целевого назначения состоит в различии характеристик, описывающих указанные четыре вида обеспечения. В целом УКП является неотъемлемой частью КА. Поэтому в дальнейшем целесообразно рассматривать именно КА как сложную техническую систему. При этом считать описанные выше особенности задания ТТТ к УКП, так как она является обеспечивающим модулем КА.

Общая схема проведения исследований по обоснованию ТТТ заключается в следующем.

Обоснование требований к УКП выполняется «сверху вниз» в соответствии с принятой иерархической структурой. На каждом уровне декомпозиции определяются решаемые КС, КК, КА задачи, показатели эффективности их решения, критерии оценивания этих показателей.

На нижнем уровне декомпозиции выполняется решение задач предварительного определения облика УКП, обоснования необходимых уровней ТТХ, прогнозирования достижимых уровней. По результатам сопоставления этих уровней определяются ТТТ к перспективным образцам КА.

Обоснование ТТТ необходимо проводить с учётом:

- формирования требований к КС и ее составным элементам, исходя из потребностей заказчика, в соот-

ветствии с принятой декомпозицией космических систем страны;

- упреждающего выполнения начала и длительности ОКР, а также срока активного функционирования;

– достижения требуемых характеристик УКП не только за счет обеспечения высоких характеристик отдельных бортовых систем (их элементов), но и за счет комплексного подхода к обоснованию рационального состава и выбора параметров процессов их функционирования;

- обоснования требований возможности использования унифицированных элементов при создании УКП, при этом, если требуемые характеристики недостижимы, то исследования должны быть направлены на создание необходимой элементной базы.

В процессе создания УКП можно выделить три этапа исследований *t*: концептуальный, обливочный и проектный.

При этом первые два этапа можно отнести к процессу формирования ТТТ к УКП, а проектный этап – к выполнению опытно-конструкторской работы по созданию УКП и КА.

На концептуальном этапе в рамках научно-исследовательских работ проводится обоснование роли и места КС в космической программе и КА в космической системе, а также концепций создания КА, определяющих основные общие требования к ним.

На обливочном этапе выполняется синтез облика УКП и КА с оптимизацией его основных обобщённых параметров в рамках выбранной концепции. Задачи обливочного этапа выполняются в рамках НИР и аванпроектов.

Облик КА и его ТТХ определяются главным образом целевой задачей, которая решается с помощью аппаратуры, составляющей полезную нагрузку. УКП обеспе-

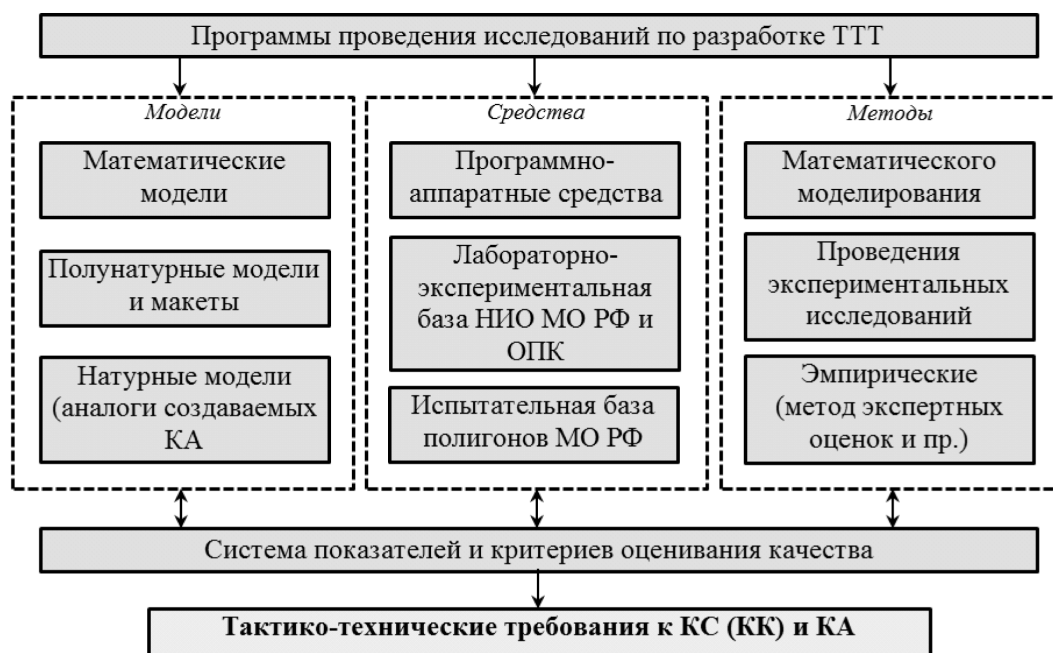


Рис. 3. Общая структура научно-методического аппарата обоснования тактико-технических требований

чивает необходимые условия работы целевой аппаратуры, управление ею в полете, энергопитание, съем телеметрической информации, доставку целевой информации на Землю.

На проектном этапе (в процессе выполнения ОКР) проводится детальная проработка устройства УКП и определение его конкретных ТТХ в рамках обоснованного технического облика КА.

Подход к обоснованию ТТТ к УКП в виде процесса, включающего три этапа, базируется на совокупности прогнозов трех видов: долгосрочном, среднесрочном и краткосрочном.

Основу концептуального этапа составляет долгосрочный прогноз, который направлен на обоснование основных направлений развития УКП на 15–20 лет вперед. Характерными условиями решения задач на этом этапе являются большой диапазон изменения ТТХ, высокая неопределенность в условиях разработки, производства, эксплуатации и применения УКП. Поэтому основными методами исследований этого этапа являются методы содержательного, неформального анализа, методы регрессионного анализа трендов изменения основных эксплуатационных свойств и ТТХ УКП, а также аналитические методы оптимизации.

Среднесрочный прогноз выполняется на обличовом этапе и базируется на более полных сведениях об УКП, конкретных сроках и масштабах их производства, потребных и выделяемых ресурсах, конкретных технологиях, которые реально могут быть использованы при разработке и создании новых образцов. К этому моменту более детально прорабатываются пере-

чень и объемы расчетных задач, условия их выполнения, а также основные оперативно-тактические требования. Имеющаяся информация на обличовом этапе позволяет выполнить оптимизацию основных ТТХ и определить содержание ТТЗ на разработку аванпроекта УКП. Достаточная полнота имеющихся исследований исходных данных определяет возможность использования на этом этапе оптимизационных и детальных методик синтеза вариантов УКП и КА в целом, а также имитационных многопараметрических моделей функционирования КА.

Для проверки достижимости требуемых характеристик должен применяться инструмент внешнего проектирования, используемый для определения состава УКП, ряда наиболее важных обобщенных характеристик его бортовых систем и оценки принципиальной возможности создания УКП, отвечающей требованиям, задаваемым к космической системе.

Внешнее проектирование – одна из важнейших составляющих процесса формирования ТТТ, основной целью которой является проработка технических решений и прогнозирование параметров УКП на ранних этапах ее создания. Эти работы проводятся без детального проектирования в интересах проверки технической реализуемости предложенных решений, удовлетворяющих заданным требованиям. Внешнее проектирование характерно для обличового этапа создания УКП.

Основной задачей внешнего проектирования при формировании ТТТ является проработка технических решений с помощью комплекса различных моделей и



методов, расчёт с определённой погрешностью диапазонов характеристик, в первую очередь интегральных параметров целевых систем, а также массогабаритных, энергетических характеристик и связанных с ними параметров орбитального полёта. По его результатам принимается решение об одобрении ТТТ и начале ОКР по созданию УКП или проводится анализ причин невыполнения требований и выработка рекомендаций по их уточнению.

Краткосрочный прогноз, который выполняется на проектно этапе, позволяет уточнить отдельные требования к УКП. Эта задача решается на основе комплексной оценки различных вариантов технических решений. Комплексной оценке подвергаются показатели эффективности УКП и КА, затрат, необходимых для реализации того или иного технического решения, полезности предлагаемых вариантов решений в целом по совокупности показателей. Имеющиеся исходные данные по техническим обликам УКП и их основных составных частей, условиям разработки, создания и применения позволяют проводить оценки, применяя детальные имитационные модели функционирования КА и методик оценки эффективности их применения.

Базу научно-методического аппарата обоснования ТТХ составляют модели КС, КА, УКП и процессов их функционирования, а также методы и средства их моделирования. Общая структура такого аппарата представлена на рис. 3.

Модели представляют собой набор обоснованных представлений о КА и УКП, а методы и методики – приёмы целесообразного проведения какой-либо работы.

Модели могут быть натурными, полунатурными или математическими. В настоящее время наибольшее распространение получили математические модели, под которыми понимаются совокупности математических соотношений, описывающих процесс функционирования объекта, исходных, выходных данных и ограничений. Для оценивания отдельных свойств УКП и КА, как правило, широко используется метод статистического имитационного моделирования [2].

Кроме моделей, методов, методик и средств моделирования важнейшими элементами научно-методического аппарата являются взаимосвязанные между собой программы проведения исследований по разработке (обоснованию) ТТТ и система показателей и критериев оценивания качества разрабатываемых КА.

Типовая программа проведения исследований содержит:

- наименования работ (этапов работ) по разработке (обоснованию) ТТТ;
- сведения об исполнителях (сотрудниках, подразделениях, организациях);
- сроки выполнения;
- исходные данные;
- сведения об ожидаемых выходных результатах.

Основу системы критериев и показателей качества создаваемого КА представляют:

- действующие нормативно-технические документы, содержащие типовые требования к качеству и процессу его функционирования;
- результаты научно-исследовательских работ, исследований на учениях;
- материалы других мероприятиях, посвящённых отработке вопросов применения КА.

Программа исследований, система критериев и показателей качества создаваемого КА во многом определяют содержание моделей, методов исследования и разработки ТТТ. Поэтому модель, используемая для обоснования ТТТ или оценки достижимости заявленных ТТХ, не обязательно должна представлять собой точное отражение моделируемого объекта или процесса. Уровень сложности модели должен соответствовать задаче моделирования и критерию оценки качества его результатов. Зачастую стремление к излишней детализации приводит к затягиванию времени создания модели, а также ошибкам при её создании.

ТТТ к УКП, в первую очередь, формируются системами верхнего иерархического уровня – КА, КК и КС на основе требований, предъявляемым к данным системам. Таким образом, в результате выполнения расчётов параметров КС формируется предварительный вариант её построения и определяются требования к:

- типам, количеству КА в орбитальной группировке и параметрам их орбит;
- параметрам целевых систем КА (характеристики зон обзора, периодичность обзора, углы визирования, точность определения координат, разрешение оптоэлектронных систем, характеристики каналов связи и передачи данных и пр.).

Эти данные являются основой требований назначения к УКП.

Описанный выше научно-методический аппарат является базовым для обоснования направления развития КС, КК и КА, а также формирования ТТТ к ним. В целом реализуемые подходы не противостоят существующим подходам к созданию КС, КК и КА в нашей стране. Однако анализ иерархических уровней научно-методического аппарата показывает, что для отечественных исследователей и разработчиков характерны:

- многообразие подходов к созданию объектов космической техники (разнообразные, не совместимые по форматам представления, исходным и выходным данным модели и методики) и конечных реализаций данной техники;
- высокий уровень взаимной закрытости информации, как среди научно-исследовательских организаций РФ, так и предприятий Роскосмоса.

Эти факторы распыляют усилия и ресурсы (временные и финансовые), а также повышают вероятность принятия ошибочных организационных и технических решений.

Особенностью научно-методического аппарата обоснования ТТТ к КА с учётом их построения на основе УКП является более широкая предметная область по сравнению с существующими моделями КС и методиками обоснования требований к параметрам входящих в их состав КА. Это обусловлено необходимостью наличия в составе методик и моделей процессов функционирования КС (КА) областей пересечения диапазонов (наборов) требований для КА, входящих в разные КС.

Особенностями данных моделей и методик должны являться:

- масштабируемость;
- многоуровневая иерархическая структура (для решения одних и тех же задач с разными классами точности моделирования выходных характеристик используются разные модели – от примитивных до сложных);
- исполнение внешнего интерфейса (наборы выходных и исходных данных) в едином стандарте как для всех разработчиков и пользователей РФ, так и в организациях Роскосмоса.

На рис. 4 представлена структура комплекса математических моделей для обеспечения разработки перспективных КА на основе УКП.

Целесообразно использовать трехуровневую систему моделей и методов (методик).

На первом уровне находятся простые модели и методы, как правило аналитические, не требующие для их реализации разработки специализированного программного обеспечения. В этом качестве можно использовать существующие аналитические зависимости в форме линеаризованных уравнений или эмпирических формул с коэффициентами, определёнными в результате статистической обработки данных натуральных экспериментов. Они могут применяться для определения границ параметров разрабатываемых КА с невысокой точностью на концептуальном этапе исследований. На практике же довольно часто требуется в довольно короткие сроки и с минимальными затратами ресурсов получить оперативные данные и выполнить оценочные расчеты. Этот же научно-методический аппарат удобно использовать при необходимости быстрой проверки достижимости заявленных ТТХ.

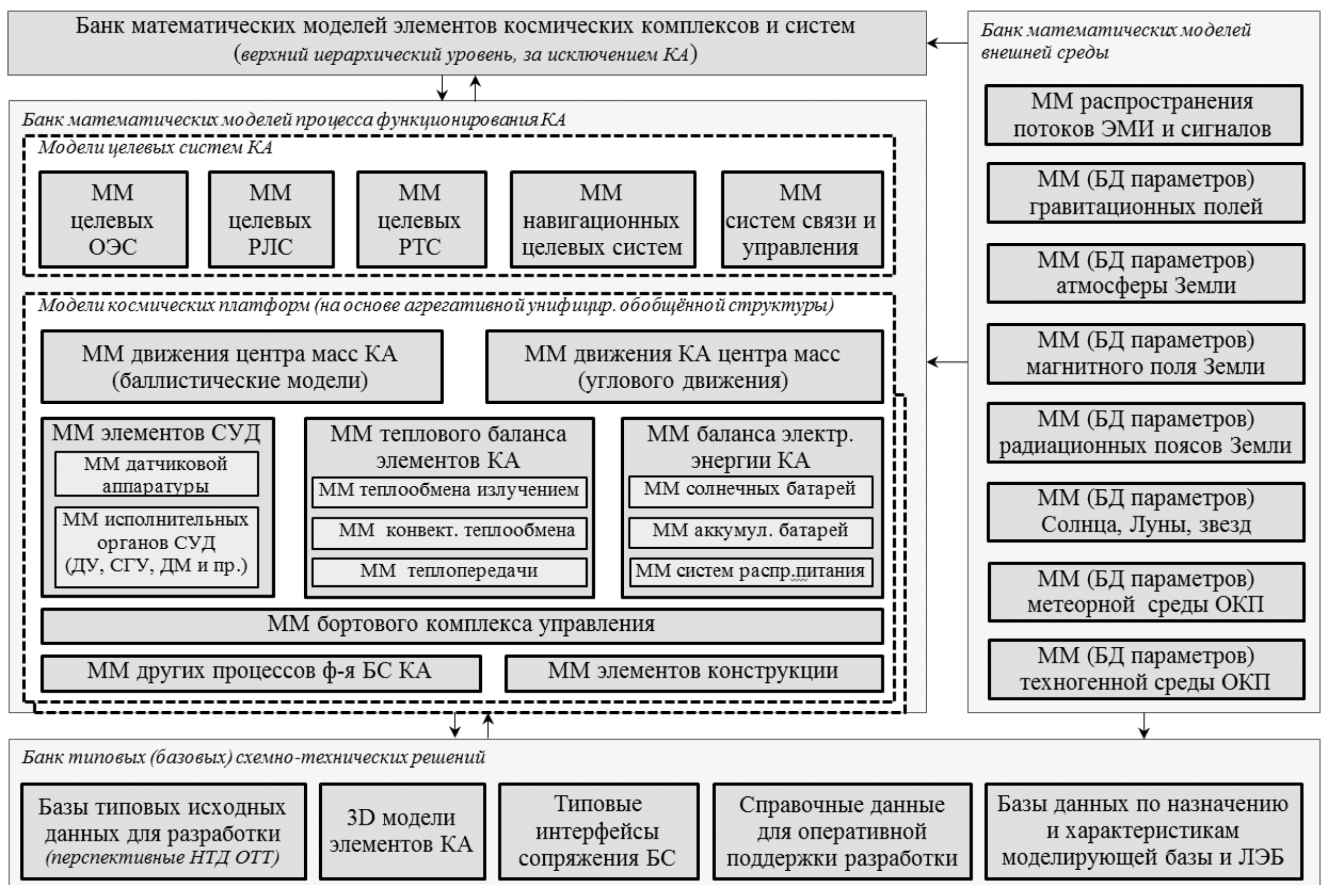


Рис. 4. Структура комплекса математических моделей для обеспечения разработки перспективных КА на основе унифицированных космических платформ

Применение аналитических зависимостей позволяет значительно сократить потребные затраты временных, материальных и людских ресурсов.

Для второго уровня целесообразно использовать численные модели и методы среднего уровня сложности. Разработка их ведется с помощью программных пакетов (Mathcad, MATLAB и пр.) и языков программирования (Delphi, C++, Python, R и др.).

Для третьего уровня характерны сложные численные и экспериментальные модели и методы. Точность определения требований с их помощью значительно выше, однако временные и прочие затраты на исследования более значительны по сравнению с первым и вторым уровнями. Для применения, как правило, необходимо специализированное программное обеспечение и лабораторно-экспериментальная (полигонная) база.

Таким образом, актуальным является развитие существующего научно-методического аппарата в направлении разработки его элементов, таких как:

- комплекс моделей и методик для обоснования обобщенных требований к УКП для КА;
- моделей перспективных КА на базе УКП, процессов их функционирования, а также методик подтверждения заявленных (прогнозируемых) характеристик КА на ранних этапах жизненного цикла.

Таким образом, сформированы предложения по уточнению научно-методического аппарата обоснования тактико-технических требований к УКП и КА в целом, а также сопровождения процессов их создания, производства и эксплуатации в форме номенклатуры моделей и методик. Представление обоснования ТТТ к УКП в виде процесса, включающего три этапа (концептуальный, обликосый, проектный), полностью согласуется с практикой программного планирования разработки космической техники, базирующейся на совокупности прогнозов трех видов: долгосрочном, среднесрочном и краткосрочном.

### **Литература**

1. Погребняк, Р.Н. Направления совершенствования методического аппарата обоснования долгосрочных программно-плановых документов в области развития системы вооружения ВС РФ / Р.Н. Погребняк, А.П. Скотников // Сб. РДР. Сер. Б № 75, инв. Б5836. М.: ЦВНИ МО, 2006.

2. Абдурахимов А.А. Методологические основы обеспечения живучести космических аппаратов / А.А. Абдурахимов, Д.В. Скворцов / Труды военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. – 2013. – № 640. – С. 7–19.