На правах рукописи

СИРАЗЕТДИНОВ РИФКАТ ТАЛГАТОВИЧ

МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА МНОЖЕСТВА ВОЗМОЖНОСТЕЙ СЛОЖНЫХ И ТРАНСФОРМИРУЮЩИХСЯ СИСТЕМ

Специальность: 05.13.16 - Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях
(авиационная и ракетно-космическая техника)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Казань - 1997

Работа выполнена в Казанском государственном техническом университете им. А.Н.Туполева

Научный консультант - Академик МАН высшей школы, Академик АН Татарстана, доктор технических наук, профессор Г.Л.Дегтярев

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Хрусталев М.М.

доктор технических наук, профессор Фурасов В.Д.

доктор технических наук, профессор Егоров Г.А.

Ведущая организация:

Государственный институт проблем промышленности, бизнеса и приватизации (г.Казань).

Защита состоится "3" июня 1997г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 063.43.03 в Казанском государственном техническом университете им. А.Н.Туполева по адресу: 420111, г.Казань, ул. К.Маркса, 10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан "3" июня 1997г.

Ученый секретарь
диссертационного совета П.Г.Данилаев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

<u>Актуальность проблемы.</u> В настоящее время математические методы и моделирование находят все более широкое применение к описанию, прогнозированию и проектированию различных сложных систем и процессов. Сложность систем и процессов определяется по некоторым общим характерным признакам, к которым относятся многокритериальность, многорежимность, многофункциональность, многосвязность, многопланозость, большая размерность и некоторые другие свойства. Эти признаки рассматривались в работах А.И.Кухтенко, Н.П.Бусленко, Л.А.Растригина, Дж.Касти, Т.К.Сиразетдинова и ряда других исследователей.

К сложным процессам относятся не только процессы, протекающие в технических системах и инженерных объектах, которые наиболее изучены, но и в математически менее изученных объектах, такие как экономические, экологические, общественные и другие процессы, которые особенно интенсивно стали рассматриваться с точки зрения применения математических методов в последнее время. Таким образом, исследование и развитие методов математического моделирования сложных систем, к которым относится и тема данной диссертационной работы, является актуальной проблемой современной науки и техники.

Как известно, на высоком уровне развития находится современная космическая наука и техника, которая перед инженерами и учеными ставит все более новые и сложные проблемы. В частности, развитие динамики полета, теории управления движением, синтеза траекторий привело к рассмотрению множества возможных вариантов функционирования системы, поведения траекторий, математическое описание и оценка их возможностей. В ряде работ достаточно подробно изучались вопросы о множестве достижимости динамических систем и оценка области притяжения (Ф.Л.Черноусько, В.И.Коробов, И.Д.Кочубиевский, А.В.Лотов, А.И.Панасюк, В.Д.Фурасов, М.М.Хрусталев и др.), построение пучков, ансамблей траекторий, управления ими (Н.Н.Красовский, В.И.Зубов, А.Б.Куржанский и др.), построение множества траекторий, основанных на дифференциальных включениях (А.А.Толстоногов и др.), эллипсоидальные оценки множеств траекторий (Ф.Л.Черноусько и др.), синтез множества управления из условия удовлетворения заданным ограничениям в виде неравенств (А.И.Богомолов, Т.К.Сиразетдинов, Г.Л.Дегтярев и др.) К этой проблеме относятся и задачи с параметрическими неопределенностями, оценивание областей расположения корней характеристического уравнения в условиях неопределенности (В.М.Кунцевич, Ю.И.Шокин, О.В.Абрамов, В.В.Здор, В.Л.Харитонов, Н.А.Хлебалин и др.). Эти и другие исследования показали необходимость целенаправленного изучения проблем моделирования множества возможностей сложных технических систем.

К теоретически и практически очень важным проблемам математического моделирования относятся модели и исследование на основе этих моделей процессов, протекающих в производственных и экономических объектах. В настоящее время существуют ряд подходов к моделированию экономических объектов, описывающих их как на микро-, так и на макроуровнях (В.Леонтьев, Дж.Форрестер, В.С.Немчинов, Л.В.Канторович, А.И.Гранберг, К.А.Багриновский, В.В.Коссов, В.М.Матросов, Т.К.Сиразетдинов, В.И.Цурков и др.). Необходимость дальнейшего изучения этих задач следует из критического состояния экономики во многих странах мира. В связи с этим в последнее время начали развиваться концепция и подходы к построению теории стабильного развития (В.М.Матросов, М.М.Хрусталев, С.Н.Васильев и др.).При этом перспективным направлением является развитие и применение математических методов и, в частности, моделирование и исследование развития многопродуктовых объектов, когда производственную мощность объекта невозможно описать как скалярную величину.

В сложных системах происходят два вида процессов. Первый - развитие системы, а второй - процесс функционирования системы. При этом процессы функционирования, т.е. множество возможностей функционирования системы, ограничены уровнем развития системы. Поэтому важна и актуальна проблема математического описания процессов развития системы, функционирования ее, трансформирования ее структуры и инфраструктуры. Термин "трансформирующиеся системы" введен для характеристики поведения современных экономических систем В.М.Матросовым.

К сложным системам относятся транспортные системы, в том числе и авиационные, которые рассматривались в работах А.В.Дабагяна, Н.Ашфорда, Х.П.М.Стентона, К.А.Мура, Г.И.Глушкова и других.

Исследованию и математическому моделированию перечисленных сложных систем и процессов посвящены большое количество исследований и в них получены значительные научные результаты, имеющие большое теоретическое и практические значение. Несмотря на эти крупные научные достижения многие проблемы математического моделирования и исследования сложных систем и процессов остаются еще не достаточно развитыми. В частности, нет единого подхода к моделированию сложных систем, остаются мало исследованными проблемы моделирования развития многопродуктовых объектов, трансформирования структуры и инфраструктуры сложных систем, системы защиты Земли от падения опасных космических объектов, обеспечивающей встречу либо перехват до попадания их в опасную для Земли зону. При этом важно исследование и управление множеством возможных, или реализуемых, перелетов космических аппаратов. Важной проблемой остается также проектирование инфраструктуры авиационных транспортных систем. и подходы к ее решению.

Все эти проблемы связаны с моделированием их как сложные системы и процессы. Данная диссертационная работа посвящена к моделированию сложных систем и процессов с приложением к исследованию указанных объектов, которые являются многорежимными, многокритериальными, многофункциональными, многовариантными и обладают рядом других свойств множественного поведения при их реализации.

Цель работы. Разработка методов и алгоритмов анализа множества возможностей функционирования сложных, многокритериальных, многорежимных и трансформирующихся систем и их применение в задачах исследования и проектирования систем и объектов различного назначения.

Задачи исследований.

1. Разработка принципов и методов формализации множества возможностей функционирования сложных систем и, на их основе, методов построения математических моделей мощности сложных систем.

2. Разработка методов математического моделирования развития, трансформирования сложных систем, которое связывается с изменением инфраструктуры системы.

3. Исследование свойств выходной и входной мощности системы, а также располагаемой мощности, под которой понимаются возможности системы, стесненные, с одной стороны, самой системой, а с другой стороны, возможностями внешней среды.

4. Разработка методов и алгоритмов, позволяющих исследовать сложную систему на предмет обеспечения ее требуемой мощности, определять неиспользованную часть либо недостающую мощность системы.

5. Разработка методов и алгоритмов аналитического проектирования сложных систем, предполагающих последовательное уточнение и развитие модели мощности проектируемой системы.

6. Разработка методов и алгоритмов решения задач синтеза управ-

ления и проектирования многокритериальных, многорежимных систем на основе моделирования их мощности как множества в пространстве критериев качества.

7. Показать эффективность разработанных методов при решении задач исследования сложных систем различного назначения.

Методы исследований. При решении поставленных в работе задач применяются методы математического моделирования, теории множеств, системного анализа, линейной алгебры, теории автоматического регулирования и управления. При выполнении расчетов применяется математическое моделирование на основе вычислительной техники, расчеты выполнены с использованием языка программирования DELPHI 2.0.

Научная новизна. В диссертации получены следующие новые научные результаты:

1. Дано определение мощности системы как множества всех её потенциальных возможностей функционирования, т.е. выполнения функций системы, представляющих собой цели создания, существования или использования ее, и разработаны способы построения этой мощности.

2. Формализован процесс функционирования системы, введены пространства характеристик функционирования, и мощности системы моделированы как множества в этих пространствах.

Разработаны способы моделирования выходной и входной мощностей объекта как множества выпусков и множества потребностей системы в соответствующих пространствах.

Даны способы моделирования систем объектов и процессов, функционирование которых линейно связаны с выпуском и с потребностями. Они названы системами или объектами линейного типа.

Получены соотношения, связывающие входную, выходную мощности и мощность инфраструктуры системы линейного типа.

3. Введены математически формальное определение инфраструктуры системы объектов как совокупности элементов или объектов, из которых образована система, и пространство инфраструктуры, каждой точке которого соответствует определенный элементный состав системы. Мощность системы конструируется из мощностей типовых объектов и рассматривается как семейство множеств, параметризованное на точках пространства инфраструктуры.

Разработаны методы агрегирования инфраструктуры, построения не использованной и недостающей мощностей, основанные на их параметризации.

4. Дано определение трансформирования системы, как изменения во времени ее инфраструктуры, и разработана математическая модель, описывающая процесс трансформирования сложной системы за счет ввода новых объектов и выбытия объектов за счет старения, износа и по другим причинам.

5. Введено понятие располагаемых мощностей, под которыми понимаются возможности системы, стесненные, с одной стороны, мощностью самой системы, и, с другой стороны, внешней средой.

Исследованы взаимосвязи располагаемых и требуемых мощностей для систем, состоящих из последовательно и параллельно соединенных объектов, а также варианты распределения выходной мощности системы между различными объектами.

6. Разработаны методика и алгоритмы аналитического проектирования сложных систем путем выбора вектора инфраструктуры, предполагающие последовательное уточнение и развитие модели мощности проектируемой системы.

Разработан алгоритм решения задачи анализа мощности, основанный на проверке достаточности или недостаточности мощности системы для обеспечения требуемой мощности.

Разработан алгоритм решения основной задачи проектирования инфраструктуры, которая заключается в нахождении такого вектора инфраструктуры системы, чтобы мощность системы была достаточна для обеспечения требуемой мощности.

7. На основе представления мощности многокритериальных систем, как множества возможных значений критериев качества функционирования в соответствующем пространстве, разработаны критерии проверки существования решения основной задачи управления в теоретико-множественной постановке, в том числе в условиях неопределенности, и итерационный метод решения задач проектирования многорежимных систем, названный методом одновременного спуска.

8. Разработана математическая модель мощности замкнутой системы экономических объектов, включающая некоторый производственный объект, рынок потребностей и рынок сбыта продукции.

9. Разработана математическая модель мощности авиационной транспортной системы, включающая модели мощности парка воздушных судов, аэропорта и служб аэропорта как его подсистем.

10. Разработаны методы решения задачи обеспечения возможности перехвата опасных космических объектов, несущих угрозу Земле, на основе построения множеств реализуемых перелетов космического аппарата-перехватчика.

11. Предложены алгоритмы решения задачи модального синтеза линейных систем в условиях параметрической неопределенности и с учетом множества вариантов реализации.

Практическая ценность полученных научных результатов в диссертации состоит в том, что они позволяют разработать инженерные методы и алгоритмы решения задач анализа и синтеза сложных систем и управления ими с учетом их множественности поведения. В частности, эти результаты автором применены при рассмотрении и решении следующих технических задач:

- моделирования и исследования таких систем, как парк воздушных судов, авиационная транспортная система;
- обеспечения возможности перехвата опасных космических объектов, несущих угрозу Земле;
- исследования возможных вариантов развития отрасли машиностроения Республики Татарстан в плане конверсии;
- синтеза регулятора для одноосной стабилизации космического аппарата с упругими элементами конструкции при неопределенности параметров.

Выполненные исследования являются частью работ, которые в течении ряда лет проводились с участием автора на кафедрах Динамики полета и управления, Управления, маркетинга и предпринимательства, Автоматики и управления Казанского государственного технического университета.

Анализ функционирования авиационной транспортной системы, исследование и построение моделей ее мощности проводились при выполнении хоздоговорных работ с консорциумом АвиаСпецТранс (г. Жуковский) и по плану фундаментальных научных исследований Казанского государственного технического университета.

Начиная с 1987 года в Казанском государственном техническом университете по плану фундаментальных научных исследований при участии автора велись и ведутся работы, связанные с разработкой быстродействующих алгоритмов построения множеств реализуемых перелетов КА-перехватчика с целью обеспечения возможности перехвата опасных

:осмических объектов, несущих угрозу Земле.

Разработка математических моделей и исследование отраслей промышленности Республики Татарстан проводились в соответствии с хоздоговорами с Государственным институтом проблем промышленности, бизне:а и приватизации (Госинпром-КНИАТ, г.Казань).

Результаты диссертации использованы на предприятиях НИИ Авиаци)нного оборудования (г.Жуковский), Госинпром-КНИАТ (г.Казань), а :акже в учебном процессе и дипломном проектировании в КГТУ им. :.Н.Туполева.

В диссертации дается единый подход к математическому моделиро:анию сложных систем и процессов, который является обобщением реше:ия ряда инженерно-технических задач, выполненных автором в течение)яда лет. Полученные в диссертации научные результаты обладают дос:аточной общностью и могут быть применены при решении задач анализа, іроектирования и прогнозирования процесса развития сложных систем)азличной природы.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на:

Межвузовской конференции по применению вычислительной техники и іатематических методов в научных исследованиях, (Алма-ата, 1980г.),

III Поволжской научно-технической конференции "Алгоритмы, :редства и системы автоматического управления" (Волгоград, 1984г.),

Пятой (Казань, 1985г.) и Шестой (Львов, 1988г.) всесоюзных кон)еренциях по управлению в механических системах,

Пятой (1987г.), Шестой (1992г.) и Седьмой (1997г.) всесоюзных Іетаевских конференциях "Аналитическая механика, устойчивость и уп)авление движением", Казань,

I (Казань, 1989г.) и II (Казань, 1996г.) Республиканских научіых конференциях молодых ученых и специалистов,

XI всесоюзном совещании по проблемам управления. (Ташкент, 1989 '.),

Научных чтениях по авиации и космонавтике (Казань, 1990г.) "Уп)авление полетом и устойчивость движения летательных аппаратов",

Научно-технической конференции "Научный потенциал вузов - прог)амме "КОНВЕРСИЯ" (Казань, 1993г.),

VI Всероссийском научно-техническом семинаре по управлению дви:ением и навигации летательных аппаратов (Самара, 1994г.), III и IV Международных конференция "Многокритериальные задачи при неопределенности" (Орехово-Зуево, 1994 и 1996гг.),

Втором Всероссийском ахметгалеевском семинаре "Аналитическая механика, устойчивость и управление движением" (Казань, 1995г.),

Международной научно-технической конференция "Актуальные проблемы математического моделирования и автоматизированного проектирования в машиностроении. МОДЕЛЬ-ПРОЕКТ 95" (Казань, 1995г.),

Международной конференции "Устойчивость и управление для трансформирующихся нелинейных систем" (Москва, 1995г.),

III Международном семинаре "Негладкие и разрывные задачи управления, оптимизации и их приложения" (Сант-Петербург, 1995г.),

Международном семинаре "Искусственный интеллект в образовании" (Казань, 1996г.),

Украинских конференциях "Моделирование и исследование устойчивости систем" (Киев, 1995 и 1996гг.).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 38 научных трудах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения, списка литературы и приложения. Объем диссертации 360 страниц машинописного текста, включая 64 рисунка и 11 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности проблемы, основные научные положения и результаты, выносимые на защиту, краткое изложение диссертации по главам.

В первой главе рассматриваются вопросы, связанные с моделированием мощности сложных систем. Вводятся понятия функционирования, работы, вектора функционирования, пространства потока работ, мощности сложной системы. Даются принципы математического моделирования мощности сложных систем.

Определение 1.1. Мощностью системы называется множество всех ее потенциальных возможностей функционирования, т.е. выполнения функций (работы, операций, оказание услуги, производство продукции, обработка информации и т.п.), представляющих собой цели создания, существования или использования системы.

Определение 1.2. Функционированием системы называется выполнение во времени конкретных функций, присущих системе, ее подсистемам и элементам.

Результат функционирования системы характеризуется выполняемой ей работой. Результат измерения работы, произведенной на некотором интервале времени, называется объемом работы.

Определение 1.3. Работой элементарного вида (РЭВ) называется работа, объем которой измеряется скалярной величиной и образует линейное пространство над полем вещественных чисел.

Пусть система может выполнять N различных элементарных видов работ, объемы которых обозначим, соответственно, $W_1, W_2, \dots, W_N$. Вводится N-мерное линейное пространство работ R_w, такое что любая работа, выполняемая системой, изображается точкой $W = (W_1, \dots, W_N)$ в пространстве R_w. В дальнейшем предполагается, что результаты функционирования системы при заданной номенклатуре РЭВ полностью определяются точками W пространства работ R_w.

Вводится понятие вектора функционирования $w_x(t,\tau)$, как объема работы, выполненной начиная с момента t за время τ. Если работа W(t) дифференцируема по t, то существует поток работ $X(t) = dW/dt$, в каждый момент времени принимающий свои значения из некоторого N-мерного линейного пространства R_x. В случае недифференцируемости работы рассматривается вектор средних потоков работ $X_{cp}(t,\tau) = w_x(t,\tau)/\tau$, выполняемых за время τ, и вектор потоков $X_T(t) = w_x(t,T)/T$, средний по периоду T, где T - некоторый характерный для функционирования системы период времени, например, час, сутки, квартал, год и т.п.

Мощность системы математически описывается как множество Ξ_w в пространстве вектор-функций w_x. Сечение $\Omega_w(t,\tau)$ множества Ξ_w при фиксированных t и τ представляет собой множество всех возможных работ, которые система имеет возможность выполнить начиная с момента t за время τ, и представляет собой мощность системы на интервале $[t, t+\tau)$. В случае, когда функционирование системы описывается потоком работ $X \in R_x$, ее мощность задается в виде множества $\Omega_x(t) \subset R_x$.

Пусть два пространства работ R_w^1 размерности N_1 и R_w^2 размерности N_2 связаны некоторым линейным отображением $\beta : R_w^1 \to R_w^2$. Тогда векторы работ в этих пространствах связаны следующим выражением:

$$W^2 = \beta W^1, \quad W^1 \in R_w{}^1, \ W^2 \in R_w{}^2, \tag{1.1}$$

где $\beta = \{\beta_{ij}\}$ - некоторая матрица коэффициентов размерности $N_2 \times N_1$. Это отображение однозначно определяет вектор работы в пространстве $R_w{}^2$, соответствующий работе из пространства $R_w{}^1$. Обратное же отображение в общем случае существует не всегда. Элементы β_{ij} каждого j-го столбца матрицы β представляют собой объем работы i-го элементарного вида $(i=\overline{1,N_2})$ пространства $R_w{}^2$, соответствующие выполнению j-го элементарного вида работ пространства $R_w{}^1$ $(j=\overline{1,N_1})$.

Пусть функционирование системы описывается потоком работ $X \in R_x$, а мощность ее описывается множеством $\Omega_x \subset R_x$. Рассмотрим пространство потоков работ R_z, связанное с пространством R_x линейным отображением β:

$$Z(t) = \beta X(t) . \tag{1.2}$$

Выражения (1.1) и (1.2) рассматриваются как агрегирование работ или потоков работ системы, хотя, в общем случае, размерность векторов, стоящих в левых частях выражений, может быть больше размерности векторов, стоящих в правых частях.

Мощность системы в пространстве R_z представляет собой множество $\Omega_z \subset R_z$ всех возможных потоков работы Z, определяемых допустимыми вариациями вектора $X \in \Omega_x$, и записывается в следующем виде:

$$\Omega_z = \{ Z: Z \in R_z, \ Z = \beta X, \ X \in \Omega_x \subset R_x \} . \tag{1.3}$$

Это выражение определяет некоторое отображение множеств β_{xz}:

$$\Omega_z = \beta_{xz} \Omega_x . \tag{1.4}$$

Пусть теперь задана мощность в агрегированных переменных $\Omega_z \subset R_z$. Мощность системы Ω_x в пространстве R_x, соответствующая Ω_z, представляет собой множество всех тех точек $X \in R_x$, которые в соответствии с (1.2) отображаются на множество Ω_z пространства R_z. Это отображение в общем случае многозначное и записывается в виде:

$$\Omega_x = \{ X: X \in R_x, \ \beta X = Z, \ Z \in \Omega_z \subset R_z \}. \tag{1.5}$$

Выражение (1.5) определяет некоторое отображение множеств β_{zx}:

$$\Omega_x = \beta_{zx}\ \Omega_z\ . \tag{1.6}$$

Рассмотрены свойства отображений β_{xz} и β_{zx}. Показано, что

$$\beta_{xz}\ (\ \beta_{zx}\ \Omega_z^*) \subset \Omega_z^*\ . \tag{1.7}$$

При функционировании системы часть мощности может остаться неиспользованной. Пусть Ω_x - мощность системы, а $X^* = X^*(t) \in \Omega_x$ - поток работы, выполняемой системой в некоторый момент времени t. Множество всех возможных потоков дополнительной работы системы при условии выполнения работы X^* определяется следующим выражением:

$$\Delta\Omega_x(X^*) = \{\ \Delta X : \Delta X > 0,\ X^* + \Delta X \in \Omega_x\ ,\ \Delta X \in R_x\ \}\ , \tag{1.8}$$

и представляет собой неиспользованную мощность системы.

Пусть для выполнения каких-либо задач или функций требуется мощность Ω_x^*. Множество всех потоков дополнительной работы системы определяется следующим выражением:

$$\Delta\Omega_x^+ = \{\ \Delta X:\ \Delta X > 0,\ \Delta X + \Omega_x^* \subset \Omega_x,\ \Delta X \in R_x\ \}\ . \tag{1.9}$$

Система может не располагать достаточной мощностью Ω_x для удовлетворения требований, заданных в виде множества Ω_x^*. Тогда возможны такие потоки работ $X^* \in \Omega_x^*$, что мощности системы Ω_x не достаточно для их реализации. Недостающая мощность $\Delta\Omega_x^-$, при добавлении которой к Ω_x станут реализуемыми любые потоки работы X^* из Ω_x^* удовлетворяет соотношению

$$\Omega_x + \Delta\Omega_x^- \supset \Omega_x^*\ . \tag{1.10}$$

<u>**Во второй главе**</u> рассматриваются вопросы, связанные с моделированием мощности инфраструктуры сложных систем. Вводится понятие инфраструктуры как элементного состава системы и строится математическая модель мощности инфраструктуры системы.

Как известно, под системой понимают совокупность взаимосвязанных элементов или объектов, которая рассматривается как нечто единое с какой-либо точки зрения. Под структурой системы понимают взаимодействие, взаимосвязь ее элементов или объектов. Элементный состав системы также можно было бы назвать структурой, но он относится к структуре более низкого уровня, чем структура взаимодействия и связей между элементами. Элементный состав назовем инфраструктурой системы (от латинского infra - ниже, structura - строение).

Пусть система S состоит из m подсистем S^j ($j=\overline{1,m}$), функционирование каждой из которых характеризуется вектором выполняемых работ $W^j(t)$ из пространства работ R_w размерности N. Показано, что мощность системы определяется как множество Ξ_w всех возможных вектор-функций w, которые складываются из векторов функционирования ее подсистем:

$$\Xi_w = \{ w:\ w = \sum_{j=1}^{m} w^j,\ w^j \in \Xi_w{}^j \subset L_w \} . \qquad (2.1)$$

Таким образом, мощность инфраструктуры системы определяется как сумма мощностей ее подсистем. Аналогичные выражения получены и для мощности системы Ω_x в пространстве потоков работ R_x.

Пусть система состоит из k однотипных объектов, мощности каждого из которых представляют собой заданное множество $\Omega_x{}^o$ в пространстве R_x. Мощность инфраструктуры системы однотипных объектов, как сумма мощностей составляющих ее объектов, определяется выражением:

$$\Omega_x = \sum_{j=1}^{k} \Omega_x{}^o = \{ X:\ X = \sum_{j=1}^{k} X^j,\ X^j \in \Omega_x{}^o,\ j=\overline{1,k} \} , \qquad (2.2)$$

Если $\Omega_x{}^o$ - выпуклое множество, то это выражение запишется в виде $\Omega_x = k\ \Omega_x{}^o$, где k может принимать любые неотрицательные значения.

Пусть даны N_k различных типов объектов O_1, $1=\overline{1,N_k}$, мощности которых заданы в виде множеств $\Omega_{x1}{}^o$ в пространстве потоков работ R_x. Пусть система S состоит из N_k подсистем однотипных объектов, где k_1 - количество объектов 1-го типа. N_k-мерный вектор $K = (k_1, \ldots, k_{Nk})$, составленный из этих величин, полностью определяет количественный состав системы S, т.е. ее инфраструктуру. N_k-мерное линейное пространство R_k векторов K названо пространством инфраструктуры, а вектор $K \in R_k$ - вектором инфраструктуры.

Мощность инфраструктуры системы запишется в следующем виде:

$$\Omega_x = \sum_{1=1}^{N_0} \sum_{j=1}^{k_1} \Omega_{x1}{}^o + \sum_{1=N_0+1}^{Nk} k_1\ \Omega_{x1}{}^o , \qquad (2.3)$$

где компоненты вектора инфраструктуры $k_1, \ldots, k_{N_0}$ соответствуют невыпуклым мощностям типовых объектов и могут принимать только целые неотрицательные значения, а компоненты $k_{N_0+1},\dots,k_{N_K}$ – выпуклым, и принимают вещественные неотрицательные значения. Множество всех допустимых значений вектора К обозначим через R_K^0. Выражение (2.3) представляет собой отображение точек множества $R_K^0 \subset R_K$ на некоторое семейство множеств $\{\Omega_X\}$ в пространстве R_X, основанное на совокупности базовых множеств Ω_{Xi}^0, $i=\overline{1,N_K}$. Показано, что это отображение линейное.

Разработан метод агрегирования инфраструктуры систем. Вводятся агрегированные объекты, инфраструктура которых в пространстве R_K определяется фиксированными векторами, и строится новое, агрегированное пространство инфраструктуры.

Разработаны методы построения неиспользованной и недостающей мощностей, основанные на параметризации искомых множеств в соответствии с инфраструктурой системы. Неиспользованная мощность ищется в виде:

$$\Delta\Omega_X = \sum_{i=1}^{N_K} \Delta k_i \, \Omega_{Xi}^0 , \tag{2.4}$$

где $\Delta K = (\Delta k_1,\dots, \Delta k_{N_K}) \in R_K^0$. Задача поиска неиспользованной мощности сводится к поиску положительного вектора ΔK, удовлетворяющего включению:

$$\Omega_X^* + \sum_{i=1}^{N_K} \Delta k_i \, \Omega_{Xi}^0 \subset \sum_{i=1}^{N_K} k_i \, \Omega_{Xi}^0 . \tag{2.5}$$

и максимизирующего функцию $J = J(\Delta K) = \sum_{i=1}^{N_K} c_i \, \Delta k_i$, (2.6)

где c_i $(i=\overline{1,N_K})$ – весовые коэффициенты.

Задача поиска недостающей мощности сводится к поиску вектор ΔK минимизирующего функцию (2.6), удовлетворяющего включению:

$$\Omega_X^* \subset \sum_{i=1}^{N_K} k_i \, \Omega_{Xi}^0 + \sum_{i=1}^{N_K} \Delta k_i \, \Omega_{Xi}^0 . \tag{2.7}$$

<u>**В третьей главе**</u> вводятся понятия пространства потребностей и пространства выпуска, связанные с входом и выходом системы, и соответствующие им входная и выходная мощности объекта; вводятся понятия системы и объекта линейного типа, пространство работ которых линейно связано с входом и выходом объекта. Рассматриваются входная и выход-

ная мощности и их связь с мощностью объекта.

Система в процессе функционирования взаимодействует с внешней средой, с различными объектами, внешними по отношению к системе. Для поддержания внутренних процессов в системе необходимо поступление определенных веществ, энергии, информации и т.д., т.е. потребностей. Это вход системы. В результате функционирования системы выполняются какие-то действия над внешними объектами. Это - выход системы.

Вводятся понятия выпуска элементарного вида (ВЭВ) и потребности элементарного вида (ПЭВ) по аналогии с РЭВ. На основе ВЭВ вводится выходной вектор функционирования $w_y(t,\tau)$ и вектор потоков выпуска Y системы, принадлежащий некоторому N_y-мерному линейному пространству R_y, как поток результатов работы системы. На основе ПЭВ потребности системы представляются как входной вектор функционирования $w_v(t,\tau)$ и вектор потоков потребностей $V(t)$, принимающий значения из некоторого N_v-мерного линейного пространства R_v.

Назначением системы, целью ее функционирования является получение некоторых выходных результатов, т.е. выполнения определенного воздействия на среду и, тем самым, обеспечение нужд пользователей системы. Этот выходной результат обеспечивается функционированием, структурой и процессами, протекающими внутри системы, которые, в свою очередь, определяют потребность входа. Вводятся в рассмотрение системы и объекты, названные системами или объектами линейного типа, внутренние процессы функционирования которых линейно связаны с выпуском и с потребностью:

$$X(t) = \beta\, Y(t)\ , \qquad V'(t) = \beta_v\, X(t)\ , \qquad V(t) = V_0(t) + V'(t)\ , \qquad (3.1)$$

где $X(t)$ - вектор потоков работ, $V_0(t) \in R_v$ - вектор постоянных потоков потребностей системы, а $V'(t) \in R_v$ - вектор потоков переменных потребностей.

Вводится математическое описание выходных мощностей Ξ_{wy}, $\Omega_{vy}(t,\tau)$ либо $\Omega_y(t)$, как множеств возможных выпусков объекта, и входных мощностей объекта Ξ_{wv}, $\Omega_{wv}(t,\tau)$ либо $\Omega_v(t)$, как множеств возможных реализаций потребностей.

Определение 3.4. Выходная мощность объекта, т.е. множество всех возможных потоков выпуска, определяется выражением:

$$\Omega_y = \{\ Y :\ Y \in R_y,\ \beta\, Y = X\ ,\ X \in \Omega_x \subset R_x\ \}\ . \qquad (3.2)$$

Допустим, что множество возможных потоков выпусков объекта Ω_y, т.е. мощность выхода задана. Тогда мощность объекта Ω_x, которая требуется для обеспечения множества выпусков Ω_y определяется выражением:

$$\Omega_x = \{ X : X \in R_x,\ X = \beta\ Y,\ Y \in \Omega_y \subset R_y \} . \qquad (3.3)$$

Выражения (3.2) и (3.3) представляют собой отображения множеств, которые обозначим β_{xy} и β_{yx}. Тогда $\Omega_y = \beta_{xy}\ \Omega_x$ и $\Omega_x = \beta_{yx}\ \Omega_y$.

Определение 3.5. Входная мощность Ω_v, необходимая для обеспечения заданной мощности объекта Ω_x, определяется выражением:

$$\Omega_v = \{ V : V \in R_v,\ V = V_0 + \beta_v\ X,\ X \in \Omega_x \subset R_x \} . \qquad (3.4)$$

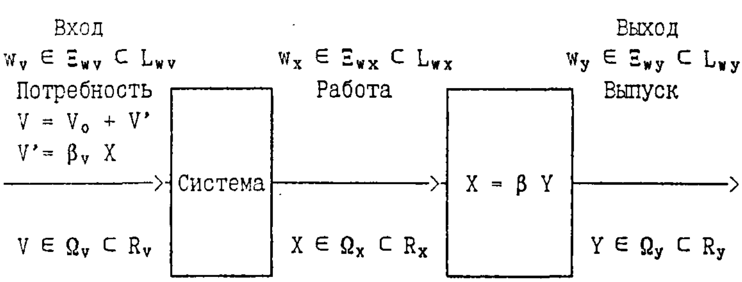
Если входная мощность Ω_v задана, то мощность объекта Ω_x, которую может обеспечить данная входная мощность Ω_v, определяется выражением:

$$\Omega_x = \{ X : X \in R_x,\ \beta_v\ X = V',\ V' \in \Omega_v' \subset R_v \} . \qquad (3.5)$$

Выражения (3.4) и (3.5) также представляют собой некоторое отображение множеств: $\Omega_v = V_0 + \Omega_v'$, $\Omega_v' = \beta_{xv}\ \Omega_x$ и $\Omega_x = \beta_{vx}\ \Omega_v'$.

В общем случае эти отображения не являются взаимнообратными. Исследована структура этих отображений.

Схема функционирования объекта линейного типа изображена на рисунке:



В четвертой главе рассматриваются свойства входных, выходных мощностей, и мощности систем, составленных из объектов линейного типа. Вводятся понятия мощности внешней среды и располагаемых мощностей входа, выхода и объекта. Исследуются мощности систем различной конфигурации.

Исследованы свойства выходной и входной мощности системы линейного типа. Показано, что эти мощности представляют собой линейные комбинации соответствующих мощностей составляющих их объектов. Пространство инфраструктуры системы линейно отображается в соответствующие семейства множеств $\{\Omega_y\}$ и $\{\Omega_v\}$, основанных на выходных и входных мощностях типовых объектов.

Рассмотрены свойства отображений мощностей системы при агрегировании и дезагрегировании пространства потоков работ системы. Показано, что операции пересечения, объединения и включения множеств при дезагрегировании мощности и при агрегировании (кроме операции пересечения) сохраняются.

Пусть некоторый объект S имеет мощность $\Omega_x{}^s \subset R_x$. Множество всех возможностей выпуска объекта характеризуется выходной мощностью $\Omega_y{}^s \subset R_y$, которая связана с мощностью объекта выражением $\Omega_y{}^s = \beta_{xy}\Omega_x{}^s$.

Для того, чтобы вся мощность $\Omega_x{}^s$ объекта могла быть использована, необходимо обеспечить входную мощность $\Omega_v{}^s \subset R_v$, которая зависит от мощности объекта $\Omega_x{}^s$ и записывается в виде $\Omega_v{}^s = V^o + \beta_{xv}\ \Omega_x{}^s$. Здесь $\Omega_v{}^{s\prime} = \beta_{xv}\ \Omega_x{}^s$ – множество переменных потребностей.

Возможности использования потребностей в общем случае не зависят от объекта, а определяются возможностями среды.

Определение 4.1. Множество $\Omega_v{}^o$ пространства R_v, определяющее возможности внешней среды обеспечивать потребности объекта, называется мощностью внешней среды.

Выражения $\Omega_x{}^o = \beta_{vx}\ \Omega_v{}^{o\prime}$ и $\Omega_y{}^o = \beta_{xy}\ \Omega_x{}^o = \beta_{vy}\ \Omega_v{}^{o\prime}$, где $\Omega_v{}^{o\prime}$ – множество переменных потребностей, обеспечиваемых внешней средой, определяют соответствующие мощность системы и выходную мощность, которые могла бы обеспечить внешняя среда.

Вводятся понятия располагаемых мощностей входа, выхода и системы, которые представляют собой соответствующие мощности, т.е. возможности системы, ограниченные, с одной стороны, возможностями самой системы выполнять работу, и, с другой стороны, возможностями внешней среды обеспечивать потребности системы.

Определение 4.2. Располагаемой мощностью системы называется множество $\Omega_x{}^p \subset R_x$, которое определяется как пересечение множеств:

$$\Omega_x{}^p = \Omega_x{}^s \cap \Omega_x{}^o . \tag{4.1}$$

Определение 4.3. Располагаемой выходной мощностью системы называется множество $\Omega_y{}^p \subset R_y$, которое определяется как отображение множества $\Omega_x{}^p$: $\Omega_y{}^p = \beta_{xy}\,\Omega_x{}^p$.

Справедливы следующие соотношения: $\Omega_y{}^p = \Omega_y{}^o \cap \Omega_y{}^s$, $\beta_{yx}\Omega_y{}^p \subset \Omega_x{}^p$.

Пусть задано некоторое множество $\Omega_y{}^* \subset R_y$, представляющее собой требуемую выходную мощность. Требуемая мощность объекта определяется выражением $\Omega_x{}^* = \beta_{yx}\,\Omega_y{}^*$.

Свойство 4.7. Для того, чтобы выполнялось включение $\Omega_x{}^* \subset \Omega_x{}^p$, необходимо и достаточно, чтобы $\Omega_y{}^* \subset \Omega_y{}^p$.

Определение 4.4. Располагаемой входной мощностью системы называется множество $\Omega_v{}^p \subset R_v$, которое определяется как отображение множества $\Omega_x{}^p$: $\Omega_v{}^p = V^o + \beta_{xv}\,\Omega_x{}^p$.

Свойство 4.8. Справедливо следующее равенство: $\Omega_v{}^{p\prime} = \Omega_v{}^{o\prime} \cap \Omega_v{}^{s\prime}$, где $\Omega_v{}^{p\prime} = \beta_{xv}\,\Omega_x{}^p$ - множество располагаемых переменных потребностей.

Пусть задано некоторое множество $\Omega_x{}^* \subset R_x$, представляющее собой требуемую мощность объекта. Требуемое множество переменных потребностей определяется выражением $\Omega_v{}^{*\prime} = \beta_{xv}\,\Omega_x{}^*$.

Свойство 4.9. Для того, чтобы выполнялось включение $\Omega_v{}^{*\prime} \subset \Omega_v{}^{p\prime}$, необходимо и достаточно, чтобы $\Omega_x{}^* \subset \Omega_x{}^p$.

Рассмотрены системы, состоящие из последовательно соединенных объектов, и системы, объекты которой имеют общий вход и общий выход, т.е. соединены параллельно. Получены выражения для располагаемых входных и выходных мощностей объектов этих систем.

Рассмотрена система, выход которой служит входом одновременно нескольким объектам. При этом потребности объектов пропорционально зависят от выпуска системы. Такая ситуация возникает, например, при моделировании мощности предприятия с учетом налоговых отчислений.

Тогда мощность $\Omega_{yj}{}^*$, достающаяся j-му объекту, определяется выражением $\Omega_{yj}{}^* = \gamma_j\,\Omega_y$, $j=\overline{1,n}$, где γ_j - коэффициенты пропорциональности. а располагаемая системой выходная мощность имеет вид:

$$\Omega_y{}^p = \gamma_0\,\Omega_y , \quad \gamma_0 = 1 - \sum_{j=1}^{n} \gamma_j . \tag{4.2}$$

В пятой главе вводится понятие трансформирующейся системы, математическая модель старения и износа функционирующих объектов и на ее основе моделируется развитие трансформирующейся системы.

Определение 5.1. Изменение инфраструктуры назовем трансформированием системы, а системы с изменяющейся во времени инфраструктурой - трансформирующимися системами.

Рассмотрим некоторый объект, функционирование которого заключается в выполнении потока работ $X = X(t)$ из n-мерного пространства R_x. До начала функционирования объект обладает некоторым ресурсом работы. В процессе функционирования объекта ресурс его вырабатывается, уменьшается, и, при достижении нуля, объект теряет свою работоспособность. Старение и износ объекта в процессе его функционирования зависит в общем случае от потока работ $X(t)$ и от времени. Пусть задана вектор-функция $X(t)$ как некоторый программный (требуемый) поток работ, не зависящий от того, функционирует объект, или нет. Объект может начать функционировать в любой момент времени $t_0 \geqslant 0$, и от этого зависит, в каких условиях он будет функционировать. Получено дифференциальное уравнение, связывающее срок службы объекта $T_в=T_в(t)$ с моментом начала функционирования объекта $t=t_0$:

$$\frac{dT_в}{dt} = \frac{f\ (\ X(t),\ t\ )}{f\ (\ X(t+T_в),\ t+T_в\ )} - 1. \qquad (5.1)$$

Получены два вида краевых условий, зависящих от срока выхода из строя объекта за счет старения T_c, номинального потока работ объекта $X_н$, и номинального срока службы объекта $T_н$ при потоке работ $X_н$.

Рассмотрены частные случаи уравнения (5.1) для случая, когда интенсивность выбытия ресурса является линейной по X:

$$f\ (X(t),\ t) = \beta_c{}^0 + \beta_c{}'\ X(t), \qquad (5.2)$$

где $\beta_c{}^0$ - коэффициент, характеризующий интенсивность старения объекта, $\beta_c{}'$ - n-мерный вектор коэффициентов, характеризующих влияние процесса функционирования на износ объекта.

Пусть система в момент времени t состоит из $k=k(t)$ однотипных объектов и выполняет некоторый поток работ $X=X(t) \in R_x$. Количество бъектов в системе удовлетворяет следующему дифференциальному соотошению:

$$\frac{dk(t)}{dt} = u_0(t) - u_в(t), \quad k(t_0) = k_0, \quad t \in [t_0, \infty), \qquad (5.3)$$

де k_0 - количество объектов в начальный момент t_0, $u_0(t)$ - поток бъектов вводимых в эксплуатацию, $u_в(t)$ - поток выбывающих объектов.

Вводится предположение, что работа распределяется между объеками равномерно. При этом все объекты, введенные в один момент врени t', функционируют с одинаковой интенсивностью и выбывают также дновременно в момент $t=t'+T_в(t')$. Тогда зависимость между интенсивостями ввода и выбытия объектов имеет вид:

$$u_в(t) = \left(1 - \frac{dT_в(t)}{dt} \right) u_0(t-T_в(t)) . \qquad (5.4)$$

Система уравнений (5.3), (5.4), (5.1) представляет математичесую модель развития системы однотипных объектов и при этом

$$T_в(t_0) = T_c, \quad x(t)\Big|_{t<t_0} = 0, \quad x(t) = \frac{X(t)}{k(t)}, \quad t \in [t_0, \infty) .$$

Если функция $f(x(t),t)$, закон ввода новых объектов $u_0(t)$ и пок работ системы $X(t)$ заданы, то система является замкнутой относиельно $k=k(t)$ и $T_в=T_в(t)$. Решение ее позволяет определять в каждый омент времени t количество объектов в системе $k(t)$.

Если задана мощность объектов системы Ω_x^0, то мощность системы нотипных объектов записывается в виде $\Omega_x(t) = k(t)\ \Omega_x^0$ и изменяет- в соответствии с системой дифференциальных уравнений.

Процесс трансформирования системы, инфраструктура которой опреляется некоторым вектором $K=(k_1, \ldots, k_{N_K}) \in R_K$, описывается соотетствующей системой N_K дифференциальных уравнений.

В качестве примера рассмотрено развитие самолетно-вертолетного арка (СВП) некоторого авиапредприятия, состоящего из воздушных сув (ВС) одного типа (можно рассматривать парк ВС, приведенных к одому типу). Поток работ, выполняемых СВП, является скалярной величиой. Построены графики развития мощности СВП при различных вариантах рмирования парка.

В шестой главе рассмотрены задача анализа мощности и основная задача проектирования инфраструктуры (ОЗПИ) сложных систем, разработаны рекуррентные алгоритмы аналитического проектирования сложных систем, предполагающие последовательное уточнение и развитие модели мощности проектируемой системы.

Построена модель мощности авиационной транспортной системы, ее подсистем, и дается метод решения ОЗПИ на примере авиационной транспортной системы.

Целью существования и функционирования систем, создаваемых человеком, является выполнение различного рода задач, которые ставятся теми, для кого создается система - пользователями. В дальнейшем предполагается, что множество задач или требований, предъявляемых потенциальными пользователями к системе, может быть формализовано и представлено в виде некоторого множества в пространстве выпуска R_{wy} либо в пространстве потоков выпуска R_y системы. Это множество представляет собой требуемую мощность системы Ω_y^*.

Определение 6.1. Задачей анализа мощности системы называется задача определения того, достаточна ли мощность системы для обеспечения требуемой мощности.

Для решения задачи анализа мощности необходимо сравнить два множества, т.е. проверить выполнение следующего включения:

$$\Omega_y^* \subset \Omega_y^p . \qquad (6.1)$$

Пусть задана требуемая выходная мощность $\Omega_y^* \subset R_y$, а требуемая мощность системы $\Omega_x^* \subset R_x$ определяется выражением $\Omega_x^* = \beta_{yx} \ \Omega_y^*$. Требуемое множество переменных потребностей $\Omega_v^{*\prime} \subset R_v$ определяется соотношением $\Omega_v^{*\prime} = \beta_{xv} \ \Omega_x^*$.

Теорема 6.1. Для выполнения условие (6.1) необходимо и достаточно, чтобы

$$\Omega_x^* \subset \Omega_x^s \quad \text{и} \quad \Omega_v^{*\prime} \subset \Omega_v^{o\prime} , \qquad (6.2)$$

где $\Omega_x^s \subset R_x$ - мощность системы, $\Omega_v^{o\prime} \subset R_v$ - множество переменных потребностей, обеспечиваемых внешней средой.

Эта теорема позволяет разбить задачу анализа мощности системы на две самостоятельные задачи. Одна - это выяснение, достаточно ли мощности самой системы для выполнения задач пользователей. Вторая -

достаточно ли мощности внешней среды системы для обеспечения множества потребностей, необходимых для выполнения задач пользователей.

Теорема распространена также для случая, когда располагаемая мощность системы является выпуклым множеством, а требуемые выходные мощности представляют собой выпуклую оболочку конечного числа точек Y_i^*, $i=\overline{1,n}$, либо объединение конечного числа выпуклых оболочек.

Разработан алгоритм решения задачи анализа мощности, который заключается в отображении системы точек Y_i^* $(i=\overline{1,n})$ в соответствующие пространства и проверке принадлежности их множествам Ω_x^s и $\Omega_v^{o\prime}$.

Определение 6.2. Основная задача проектирования инфраструктуры (ОЗПИ) заключается в поиске такого вектора инфраструктуры К, чтобы выполнялось включение:

$$\Omega_x^* \subset \Omega_x^s\ (K)\ . \qquad (6.3)$$

Если решение ОЗПИ существует, то, в общем случае, оно не единственно. Возможно множество векторов К, удовлетворяющих (6.3). В этом случае можно решать задачи, например, оптимизации вектора К по какому-либо критерию, либо поиску неиспользованной мощности и т.п. Однако, в первую очередь требуется найти хотя бы один вектор К, чтобы выполнялось включение (6.3), т.е. решить ОЗПИ.

Для решения ОЗПИ разработан рекуррентный алгоритм, идея которого заключается в следующем. Система точек Y_i^* $(i=\overline{1,n})$ отображается в пространство потоков работы системы в виде точек X_i^*. На каждом шаге итерации определяются компоненты вектора К, которые следует увеличить для того, чтобы точки X_i^*, не принадлежащие $\Omega_x^s(K)$, приблизились к $\Omega_x^s(K)$. Если все точки X_i^* принадлежат множеству $\Omega_x^s(K)$, то вектор К является решением ОЗПИ. Если на инфраструктуру системы наложены какие-либо ограничения, то, возможно, не существует такой вектор К, чтобы все точки X_i^* $(i=\overline{1,n})$ принадлежали $\Omega_x^s(K)$. В этом случае решение ОЗПИ не существует.

Второй важной проблемой является обеспечение мощности внешней среды. Если она неограничена, задача решена. Если она задана в виде жестких ограничений, например, некоторой системы неравенств, то задача сводится к проверке выполнения этих ограничений, т.е. к задаче анализа.

Однако, мощность внешней среды, вообще говоря, задается располагаемой выходной мощностью некоторой другой системы, которая имеет свою инфраструктуру, ее мощность и мощность своей внешней среды. Тогда задача снова разбивается на две: первая - это анализ мощности инфраструктуры системы, создающей эти потребности, и вторая - анализ мощности ее внешней среды.

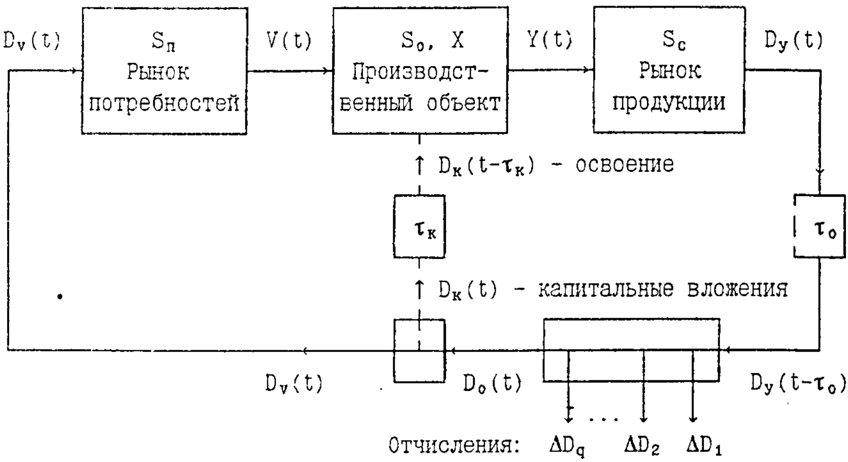
Этот процесс добавления новых систем, подсистем, объектов обеспечивающих потребности первоначальной системы, может быть продолжен. Вводя в рассмотрение новый объект или подсистему, необходимо вводить вектор ее инфраструктуры и строить мощности инфраструктуры и внешней среды. Таким образом, развивается математическая модель мощности системы, вектор ее инфраструктуры, и при этом каждый раз остается внешняя среда, которую опять можно уточнять и вводить в состав модели новые подсистемы. Этот процесс может быть продолжен до получения замкнутой среды.

Разработана методика проектирования сложных систем с целью обеспечения выполнимости множества задач пользователей.

Полученные результаты применены при моделировании мощности инфраструктуры авиационной транспортной системы (АТС). В качестве подсистем аэропорта, наиболее сильно влияющих на мощность АТС в целом, рассмотрены: зона района аэропорта , взлетно-посадочная полоса, авиатопливообслуживание, техническое обслуживание. Разработаны модели мощности этих подсистем и АТС в целом.

Седьмая глава посвящена моделированию и исследованию процесса развития замкнутой экономической системы промышленного производства и рыночного обмена. Строятся модели мощности рынков потребностей и выпускаемой продукции, производственного объекта. Исследуются варианты динамики развития мощности промышленности на примере машиностроительного комплекса Республики Татарстан.

Имеется производственный объект S_o, выполняющий некоторый поток работ $X \in R_x$ и выпускающий поток продукции $Y \in R_y$. Поток этих потребностей $V \in R_v$ поступает с рынка потребностей $S_п$. Произведенная продукция реализуется на рынке сбыта S_c. Вырученные за продукцию деньги D_y после выплаты налогов и других отчислений расходуются на покупку потребностей в размере D_v и на развитие производства в размере $D_к$. Этим замыкается цикл производства. Динамика системы определяется временем оборота капитала τ_o и временем освоения капитальных вложений $\tau_к$. Блок-схема рассматриваемой системы изображена на рисунке.



Вводятся в рассмотрение типовые ОПФ, мощности $\Omega_{xi}{}^{o}$ которых определяются неравенствами:

$$0 < x_i < f_i \ , \quad i=\overline{1,n}, \tag{7.1}$$

где f_i - максимальный поток работы, приходящийся на единицу стоимости ОПФ i-го вида ($i=\overline{1,n}$), x_i - поток работы i-го элементарного вида, приходящийся на единицу стоимости ОС i-го вида.

Разомкнутая система (РС) образуется последовательным соединением таких объектов, как рынок потребностей, производственный объект и рынок сбыта. Располагаемая выходная мощность РС, как множество возможных потоков денег, определяется неравенством $0 < D_y < D_y{}^{max}$, где $D_y{}^{max}$ - определяется как решение задачи линейного программирования:

$$D_y{}^{max} = \max \ C_y \ Y \tag{7.2}$$

при условии выполнении системы неравенств

$$\begin{cases} 0 < V_o + \beta_v \ \beta \ Y < V^{max} , \\ 0 < D_{vo} + C_v \ \beta_v \ \beta \ Y < D_v{}^{max}, \\ 0 < \beta Y < X^{max} , \\ 0 < Y_j < Y_j{}^{max} , \quad j=\overline{1,m}. \end{cases} \tag{7.3}$$

Здесь V - вектор потоков потребностей, C_v - вектор цен потребностей, $D_{v0} = C_v V_0$ - постоянные потребности в денежном выражении, V^{max} - вектор, ограничивающий возможные потоки потребностей, X - вектор потока работ, $X^{max} = (X_1^{max}, \ldots, X_n^{max})^T$ - вектор с компонентами $X^{max}_i = f_i k_i$, k_i - стоимость ОПФ i-го вида, Y - вектор потока выпуска, C_y - вектор цен на выпускаемую продукцию, Y^{max} - вектор, определяющий максимально возможные потоки реализуемой продукции соответствующего вида, D_v^{max} - максимально допустимый поток денег, который производственный объект может тратить на приобретение потребностей.

Входная мощность разомкнутой системы, т.е. множество возможных потоков денег D_v, поступающих в момент времени t на рынок потребностей, определяется следующим выражением:

$$0 < D_v(t) < D_v^{max}(t) , \tag{7.4}$$

где $D_v^{max}(t) = \gamma_0 D_y^{max}(t-\tau_0) - D_K(t)$. Это выражение замыкает мощности, т.е. возможности системы. Возможности приобретения потребностей в момент времени t переходят в возможности производства и выпуска продукции, что, в свою очередь, приводит к возможности в момент времени $t+\tau_0$ получить доход. Оставшаяся часть возможного дохода дает уже новые возможности приобретения потребностей и продолжения производства продукции. Отчисления D_K на капитальные вложения позволяют увеличить мощность инфраструктуры производственного объекта и, тем самым, увеличить возможности производства продукции.

Расчеты по этой модели выполнены для отрасли машиностроения Республики Татарстан с использованием доступных данных. Рассматривалась двухпродуктовая модель, когда отрасль производит продукцию оборонного характера и товары народного потребления (ТНП). Исследован развитие отрасли в 1992-96 годы в предположении, что делаются инвестиции в специальные основные производственные фонды (ОПФ) для производства ТНП. Показано, что отрасль могла бы успешно развиваться условиях конверсии при соответствующих капитальных вложениях в производство ТНП.

В восьмой главе разработанный общий подход применен для решени задач управления и проектирования сложных многокритериальных и многорежимных технических систем. При этом мощность системы строится н в пространстве работ, а в пространстве функционалов качества. Рассмотрены задача выбора параметров космических аппаратов (КА) для перехвата опасных космических объектов (ОКО) и задача синтеза управления для линейных динамических систем в условиях параметрической неопределенности на примере угловой стабилизации упругого КА.

Обобщена классическая постановка основной задачи управления (ОЗУ). Пусть качество функционирования объекта управления характеризуется некоторой совокупностью функционалов $J_i = J_i [u]$, $i=\overline{1,N_J}$, определенных на множестве допустимых управлений $U_{доп}$, где N_J - количество функционалов. Каждой реализации управления $u \in U_{доп}$ соответствует определенное качество функционирования управляемого объекта, характеризуемое расположением вектора $J = (J_1,\dots,J_{N_J})$ в некоторой точке N_J-мерного пространства R_J функционалов качества.

Вводятся в рассмотрение множества Ω_i ($i = \overline{0, m}$) в пространстве R_J, удовлетворяющие следующему выражению:

$$\Omega_m \subset \Omega_{m-1} \subset \dots \subset \Omega_0 \subset R_J, \quad \text{и} \quad \Omega_{-1} = R_J \setminus \Omega_0, \tag{8.1}$$

такие, что Ω_0 соответствует множеству реализаций управления, обеспечивающих удовлетворительное качество функционирования, Ω_m - высшего уровня качества функционирования объекта, Ω_{-1} - неудовлетворительному функционированию. Множества Ω_i ($i = \overline{1,m-1}$) представляют собой промежуточные уровни или степени качества. При каждом $i = \overline{1,m}$ качество функционирования считается неразличимым для всех $J \in \Omega_{i-1} \setminus \Omega_i$.

Определение 8.1. Основная задача управления заключается в том, чтобы найти одно или множество управлений $u \in U_{доп}$, при которых выполняется включение

$$J [u] \in \Omega_{ОЗУ}, \tag{8.2}$$

где $\Omega_{ОЗУ} = \Omega_i$ при некоторой заданной степени качества функционирования системы $i \in \{1,2,\dots,m\}$.

В общем случае вектор функционалов качества $J = J [k,u,v]$ зависит от трех групп параметров: проектные параметры $k = (k_1, \dots , k_n) \in K$, где K - некоторое заданное множество пространства параметров; управление или управляющие параметры $u = (u_1,\dots,u_r) \in U_{доп}$; неопределенные параметры и функций $v=(v_1,\dots,v_q) \in \Theta_н$, где $\Theta_н$ - некоторое заданное множество.

Рассмотрим детерминированный случай, когда неопределенные параметры отсутствуют, т.е. $J = J[k, u]$. При каждом варианте выбор проектных параметров $k \in K$ существует множество возможностей выбор управлений $u \in U_{доп}$. Введем в рассмотрение многозначное отображени $\Omega(k, \cdot)$ множеств U пространства управлений в множества пространств функционалов качества R_J : $\Omega(k,U) = \{ J[k,u]: u \in U \}$, $U \subset B_u$.

Тогда множество возможных значений функционалов при конкретнс значении $k \in K$ определяется выражением $\Omega_{доп}(k) = \Omega(k, U_{доп})$. Множество $\Omega_{доп}(k)$ определяет множество возможных вариантов функционирс вания системы и, следовательно, описывает ее мощность.

Так как управления u будут реализованы при функционировани системы, то проектные параметры k должны обеспечивать возможност выбора такого управления, при котором достигалось требуемое качеств функционирования. Поэтому задача аналитического проектирования синтеза управления заключается в выборе таких k, чтобы существовал управление $u \in U_{доп}$, удовлетворяющее заданным требованиям, т.е. существовало решение ОЗУ.

Теорема 8.1. Для существования решения ОЗУ необходимо, а в случае однозначности отображения $J = J[k, u]$ и достаточно, чтобы выполнялось следующее условие: $\Omega_{доп}(k^*) \cap \Omega_{ОЗУ} \neq \varnothing$.

Пусть S - множество видов задач, выполняемых рассматриваемо системой. Требование к качеству выполнения задачи $s \in S$ определяетс расположением вектора J в соответствующем множестве $\Omega^s{}_{ОЗУ}$ в пространстве качества R_J:

$$J \in \Omega^s{}_{ОЗУ}, \quad s \in S . \tag{8.3}$$

Тогда задача проектирования заключается в выборе такого вектора $k=k$ $\in K_{доп}$, чтобы $\Omega_{доп}(k^*) \cap \Omega^s{}_{ОЗУ} \neq \varnothing$ для всех $s \in S$.

Для решения этой задачи предложен следующий метод, который наз ван методом одновременного спуска (МОС). Вводятся расстояния γ^s между множествами $\Omega_{доп}(k)$ и $\Omega^s{}_{ОЗУ}$ ($s\in S$), используя, например, метрик Хаусдорфа. Тогда ОЗУ заключается в определении вектора $k = k^*$, чтоб выполнялась система неравенств: $\gamma^s < 0$ для всех $s \in S$.

МОС представляет собой итеративную процедуру, на каждом шаг которой выбирается такое приращение Δk вектора проектных параметров чтобы все положительные величины γ^s убывали, т.е. приращения $\Delta\gamma^s$ были отрицательными.

Пусть задача аналитического проектирования решена, и проектны параметры $k=k^*$ выбраны. Тогда вектор функционалов с учетом неопредеенных параметров запишется в виде $J = J[u,v]$, $u \in U_{доп}$, $v \in \theta_н$. ля каждого вектора управления $u \in U_{доп}$ существует множество реализаций вектора неопределенных параметров v из множества $\theta_н$. Вводится рассмотрение многозначное отображение $\Omega(u, \cdot)$ множеств θ пространства неопределенных параметров в множества $\Omega \subset R_J$ пространства функционалов: $\Omega(u, \theta) = \{ J[u,v]: v \in \theta \}$. Тогда множество возможных начений функционалов при конкретном значении $u \in U_{доп}$ определяется выражением: $\Omega_н(u) = \Omega(u, \theta_н)$.

ОЗУ заключается в том, чтобы найти такой вектор $u = u^* \in U_{доп}$, ри котором выполняется следующее условие: $\Omega_н(u) \subset \Omega_{озу}$.

Разработаны методы решения задачи обеспечения возможности перехвата ОКО, несущих угрозу Земле, с помощью КА, находящегося на руговой орбите. Мощность КА-перехватчика описывается в виде множества реализуемых перелетов $\Omega_{КА} = \Omega_{КА}(k)$, представляющих собой области на плоскости, по осям координат которой откладываются, соответственно, момент t_c времени старта КА и момент $t_в$ времени встречи го с ОКО, k - вектор параметров КА и его орбиты.

Задача обеспечения возможности перехвата с 1-й степенью безоасности заключается в том, чтобы выбрать такие значения параметров , при которых выполняется выражение: $\Omega_{КА}(k) \cap D_1 \neq \varnothing$, где D_1 - бласть на плоскости времен, соответствующая 1-й степени безопасноси Земли.

Запас устойчивости, колебательность и, вообще, качество функцинирования линейных стационарных систем в значительной степени опреляются расположением корней характеристического уравнения (полюов) замкнутой системы на комплексной плоскости. Обычно задается ребуемая область расположения корней на комплексной плоскости, беспечивающая требуемое качество управления.

Разработан метод и алгоритм решения задачи поиска множества упавляющих параметров в виде гиперпараллелепипеда, таких что при люых значениях неопределенных параметров из заданной области, корни арактеристического уравнения замкнутой системы лежали в требуемой бласти $\Omega_{озу}$.

Результаты проиллюстрированы на примере упругого космического ппарата. Рассмотрено построение гарантированной области расположения полюсов замкнутой системы в задаче одноосной угловой стабилизаии КА с упругими элементами конструкции. КА представляет собой, есткое тело с консольно заделанной симметричной парой упругих невесомых стержней с грузами на концах. В качестве неопределенных параметров приняты момент инерции жесткого тела, момент инерции груза, парциальная частота упругих колебаний и длина упругой балки.

В заключении приводятся основные результаты и выводы по диссертации.

Приложение носит справочный характер и содержит некоторые сведения из линейной алгебры.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертации решена научная проблема разработки методов и алгоритмов анализа множества возможностей функционирования сложных, многокритериальных, многорежимных и трансформирующихся систем и их применения в задачах исследования и проектирования систем и объектов различного назначения, имеющая важное народно-хозяйственное значение.

Получены следующие основные научные и практические результаты.

1. Введено понятие мощности системы как множества всех её потенциальных возможностей функционирования, т.е. выполнения функций (работы, операций, производство продукции, обработка информации и т.п.), представляющих собой цели создания, существования или использования системы и даны способы ее моделирования. Формализован процесс функционирования системы, введены пространства характеристик функционирования. Математические модели мощности системы строятся как множества в этих пространствах.

2. Введены формальное определение инфраструктуры системы и пространства инфраструктуры, каждой точке которого соответствует определенный элементный состав системы. Мощность системы конструируется из мощностей типовых объектов и рассматривается как семейство множеств, параметризованное на точках пространства инфраструктуры. Разработаны методы агрегирования инфраструктуры, методы построения неиспользованной или недостающей мощности, основанные на их параметризации.

3. Введены понятия выходной и входной мощностей сложного объекта, которые моделируются как множества выпусков и множества потреб-

остей системы в соответствующих пространствах. Построены модели истем объектов и процессов, функционирование которых линейно связа-о с выпуском и с потребностями. Они названы системами или объектами инейного типа.

4. Получены соотношения, связывающие входную, выходную мощности мощности инфраструктуры системы линейного типа. Эти соотношения редставляют собой отображения множеств и, в общем случае, не явля-тся взаимнообратными. Исследованы структура и свойства этих отобра-ений. Показано, что операции пересечения, объединения и включения ножеств при дезагрегировании мощности и операции объединения и ключения при агрегировании сохраняются.

5. Введено понятие располагаемых мощностей, под которыми пони-аются возможности системы, стесненные, с одной стороны, мощностью амой системы, и, с другой стороны, внешней средой. Исследованы вза-мосвязь располагаемых и требуемых мощностей для систем, состоящих з последовательно и параллельно соединенных объектов, а также вари-нты распределения выходной мощности системы между различными объек-ами.

6. Дано определение трансформирующейся системы и разработана атематическая модель, описывающая процесс трансформирования сложной истемы за счет ввода новых объектов и выбытия объектов за счет ста-ения и износа и других причин.

7. Разработаны методика и алгоритмы аналитического проектирова-ния сложных систем путем выбора вектора инфраструктуры, предполагаю-щие последовательное уточнение и развитие модели мощности проектиру-емой системы. Предложен алгоритм решения задачи анализа мощности, заключающейся в определении достаточности или недостаточности мощ-ности системы для обеспечения требуемой мощности. Создан алгоритм решения основной задачи проектирования инфраструктуры, которая зак-лючается в нахождении такого вектора инфраструктуры системы, чтобы ее мощность была достаточна для обеспечения требуемой мощности.

8. Рассмотрена мощность как множество возможностей по обеспече-нию различных вариантов качества функционирования системы. Мощность образует некоторые области в пространстве критериев качества системы и представляет собой множество возможных качеств функционирования системы, которые могут быть достигнуты при управлении из допустимой области. Сформулирована более общая постановка основной задачи уп-равления (ОЗУ), заключающаяся в поиске такого управления, чтобы

функционирование системы удсвлетворяло различным заданным уровням качества. Предложены критерии проверки существования решения ОЗУ в теоретико-множественной постановке, в том числе в условиях неопределенности. На их основе разработан итерационный метод решения задач проектирования многорежимных систем, названный методом одновременного спуска.

9. Построена математическая модель мощности авиационной транспортной системы, включающая модели мощности парка воздушных судов, аэропорта и служб аэропорта как его подсистем. Результаты использованы при решении задачи проектирования инфраструктуры авиационной транспортной системы, состоящей из трех аэропортов.

10. Построена математическая модель мощности замкнутой системы экономических объектов, включающей рынок потребностей, некоторый производственный объект и рынок сбыта продукции. Результаты использованы при моделировании мощности машиностроительного комплекса Республики Татарстан как трансформирующейся системы. С помощью этой модели исследованы возможные варианты развития машиностроения в 1992-1996 годы в плане конверсии.

11. Разработаны методы решения задачи обеспечения возможности перехвата опасных космических объектов, несущих угрозу Земле, на основе построения множеств реализуемых перелетов КА-перехватчика.

12. Разработаны алгоритмы решения задачи модального синтеза линейных систем в условиях параметрической неопределенности. Результаты использованы для синтеза регулятора угловой стабилизации КА с упругими элементами конструкции.

Научные результаты, полученные в диссертации, обладают достаточной общностью и могут быть применены при решении задач исследования и прогнозирования процесса развития сложных систем различной природы.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Сиразетдинов Р.Т. Решение основной задачи управления методом одновременного спуска.- В сб.: Оптимизация процессов в авиационной технике. Межвузовский сборник. Казань: Изд. КАИ, 1980, с.82-88.

2. Сиразетдинов Р.Т. Разработка алгоритма синтеза управления для упругого летательного аппарата.- В сб.: Межвузовская конференция по

рименению вычислительной техники и математических методов в научных сследованиях. Тезисы докладов. Алма-ата: Изд. КазГУ, 1980, с.28.

3. Сиразетдинов Р.Т. Синтез регулятора для линейных систем методом дновременного спуска. - В сб.: Оптимизация процессов в авиационной ехнике. Межвузовский сборник. Казань: Изд.: КАИ, 1981, с.100-103.

4. Сиразетдинов Р.Т. Определение области решения основной задачи правления. - В сб.: Оптимизация процессов в авиационной технике. ежвузовский сборник. Казань: Изд. КАИ, 1982, с.43-48.

5. Сиразетдинов Р.Т. К решению основной задачи управления (ОЗУ). - зв. ВУЗов. Сер. "Авиационная техника". Казань: Изд. КАИ, 1982, N 4, .85-89.

6. Сиразетдинов Р.Т. Синтез области управления для упругого летательного аппарата. - В сб.: Алгоритмы, средства и системы автоматиеского управления. Тезисы докладов, Волгоград, 1984, с.39-40.

7. Сиразетдинов Р.Т. К построению гарантированной области располоения корней характеристического уравнения замкнутой системы. -Изв. УЗов. Сер. "Авиационная техника". Казань, 1984, N 4, с.72-76.

8. Сиразетдинов Р.Т. Синтез регуляторов для линейных непрерывных истем по прямым показателям качества, основанным на построении ансамблей траекторий. - В сб.: Пятая всесоюзная конференция по управлению в механических системах: (Тезисы докладов). 12-14 июня 1985 г. - Казань: КАИ, 1985, с.52-53.

9. Сиразетдинов Р.Т. Параметрический синтез управления летательными аппаратами в условиях неопределенности начальных условий и возмущающих воздействий. - Изв. ВУЗов. Сер. "Авиационная техника". Казань: Изд. КАИ, 1986, N 3, с.35-40.

10. Сиразетдинов Р.Т. Построение множества решений задачи модального синтеза линейных систем. - В сб.: Пятая всесоюзная Четаевская конференция "Аналитическая механика, устойчивость и управление движением" 22-24 сентября 1987 г.: Тезисы докладов. - Казань: КАИ, 1987, с.86.

11. Сиразетдинов Р.Т. Построение гарантированной области расположения нулей и полюсов передаточных функций динамических систем// Автоматика и телемеханика, 1988, с.51-58.

12. Сиразетдинов Р.Т. О построении множества решений основной задачи управления для линейных стационарных систем в условиях неопределенности. - В сб.: Шестая всесоюзная конференция по управлению в механических системах. Тезисы докладов. 26-28 апреля 1988 г. - Львов:

Инст. приклад. проблем механики и математики АН УССР, 1988, с.142.

13. Андреев О.В., Сиразетдинов Р.Т. Построение расписания параллельного обслуживания с минимаксным критерием.- В сб.: I республиканский научно-технический семинар молодых ученых и специалисто "Актуальные вопросы использования достижений науки и техники в народном хозяйстве". Тезисы докладов. Казань, 1989, с.45.

14. Сиразетдинов Р.Т. Синтез множества управлений, гарантирующи качество линейных стационарных систем при неопределенности параметров.- В сб.: XI всесоюзное совещание по проблемам управления. (Ташкент, сентябрь 1989 г.). Тезисы докладов. М., 1989, с.23-24.

15. Сиразетдинов Р.Т., Файзутдинов Р.Н. Алгоритм построения областей существования решений задачи встречи.- В сб.: Труды Научных чтений по авиации и космонавтике (Казань, 14-17 мая 1990 г.). "Управление полетом и устойчивость движения летательных аппаратов", М.: ИИЕ АН СССР, 1990, с.15.

16. Сиразетдинов Р.Т. Построение множества решений задачи модального синтеза линейных систем при неполном измерении состояния и неопределенности параметров объекта управления.- В сб.: Проблемы аналитической механики, устойчивости и управления движением. Новосибирск "Наука". Сибирское отделение, 1991, с.192-199.

17. Амирханов Ш.Д., Андреев О.В., Иваненко И.С., Родионов В.В., Сиразетдинов Р.Т. О новом подходе к моделированию и управлению развитием сложной транспортной системы.-В сб.: Шестая Четаевская конференция "Аналитическая механика, устойчивость и управление движением", 21-24 января 1992 г.: Тезисы докладов.- Казань: КАИ, 1992 с.88.

18. Сиразетдинов Р.Т., Файзутдинов Р.Н. Построение областей реализуемых перелетов между круговыми орбитами.-В сб.: Шестая Четаевская конференция "Аналитическая механика, устойчивость и управление движением", 21-24 января 1992 г. Тезисы докладов.- Казань: КАИ, 1992 с.110.

19. Сиразетдинов Р.Т., Амирханов Ш.Д., Иваненко И.С. Динамическое моделирование развития инфраструктуры авиационных транспортных перевозок.- В сб.: Научный потенциал вузов - программе "КОНВЕРСИЯ": Научно-техническая конференция: Тезисы докладов. 27-29 января 1993г. Казань: КГТУ им.А.Н.Туполева, 1993, с.69.

20. Сиразетдинов Р.Т. Математическое моделирование развития систем однотипных объектов с учетом интенсивности их эксплуатации (На при

мере самолетно-вертолетного парка). - Изв. ВУЗов. Сер. "Авиационная техника". Казань, 1994, N 1, с.63-68.

21. Сиразетдинов Р.Т., Файзутдинов Р.Н. Построение множества реализуемых перелетов геометрическими методами.- В сб.: Научно-техническая конференция по итогам работы за 1992-1993 гг. "НИЧ - 50 лет", 1-15 апреля 1994г., Казань: Тезисы докладов.- Казань КГТУ им. А.Н.Туполева, 1994, с.98.

22. Р.Т.Сиразетдинов, Р.Н.Файзутдинов. Применение геометрических методов для построения и анализа областей реализуемых перелетов.-В сб.: Управление движением и навигация летательных аппаратов: Сб. тр. VI Всерос. науч.-техн. семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов (22-24 июня 1993г.): Ч.2 /Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1994, с.89-92.

23. Деваев В.М., Сиразетдинов Р.Т. Задача гарантированного управления многокритериальными системами в условиях неопределенности.- В сб.: III Международная конференция "Многокритериальные задачи при неопределенности", 5-9 сентября 1994г., Орехово-Зуево, Россия : Тезисы докладов.- Орехово-Зуево: Изд. Педагогического института, 1994, с.23.

24. Амирханов Ш.Д., Сиразетдинов Р.Т. Один подход к моделированию процессов обслуживания.- В сб.: Второй Всероссийский ахметгалеевский семинар "Аналитическая механика, устойчивость и управление движением", 1-2 февраля 1995г.: Тезисы докладов.- Казань: КГТУ им. А.Н.Туполева, 1995, с.4.

25. Сиразетдинов Р.Т., Файзутдинов Р.Н. О задаче проектирования траектории перехвата опасных космических объектов.- В сб.: Второй Всероссийский ахметгалеевский семинар "Аналитическая механика, устойчивость и управление движением", 1-2 февраля 1995г.: Тезисы докладов.- Казань: КГТУ им. А.Н.Туполева, 1995, с.31.

26. Сиразетдинов Т.К., Амирханов Ш.Д., Сиразетдинов Р.Т. Моделирование и исследование мощности системы обслуживания по выполнению многомерного потока задач. - В сб.: Украинская конференция "Моделирование и исследование устойчивости систем", 15-19 мая 1995г.: Тезисы докладов конференции.- Киев, 1995, с.100.

27. Дегтярев Г.Л., Сиразетдинов Р.Т., Файзутдинов Р.Н. Проектирование траекторий перехвата опасных космических объектов. - В сб.: "Актуальные проблемы математического моделирования и автоматизированного проектирования в машиностроении. МОДЕЛЬ-ПРОЕКТ 95".: Тезисы док-

ладов. Международная научно-техническая конференция, 1-3 июня 1995г - Казань, Казанский государственный технический университет, 1995 с.36-38.

28. Сиразетдинов Р.Т. Математическое моделирование мощности транс формирующихся систем. - В сб.: Международная конференция "Устойчивость и управление для трансформирующихся нелинейных систем", 27-29 июня 1995г.: Тезисы докладов.- Москва, 1995, с.52.

29. Сиразетдинов Р.Т., Файзутдинов Р.Н. Задача проектирования траектории перехвата опасных небесных тел в постановке основной задачи управления.- III Международный семинар "Негладкие и разрывные задачи управления, оптимизации и их приложения": Тезисы докладов ч.I.- Сант-Петербург, 1995, с.137-140.

30. Амирханов Ш.Д., Сиразетдинов Р.Т. Моделирование многорежимных систем обслуживания //Изв. вузов. Авиационная техника. 1995. N4. с.52-58.

31. Сиразетдинов Р.Т. О моделировании развития трансформирующихся систем.- Научно-техническая конференция "Факультету Автоматики и электронного приборостроения - 45 лет". Тезисы докладов, 5-9 февраля 1996г.- Казань, Казанский государственный технический университет, 1996, с.52.

32. Сиразетдинов Р.Т. Один подход к моделированию развития инфраструктуры сложных систем.- Украинская конференция "Моделирование и исследование устойчивости систем" (Исследование систем). Тезисы докладов конференции, 20-24 мая 1996г.- Киев, 1996, с.121.

33. Сиразетдинов Р.Т., Старостин Б.А., Файзутдинов Р.Н. Построение и анализ множеств реализуемых двухимпульсных траекторий перехвата опасных небесных тел.- II Республиканская научная конференция молодых ученых и специалистов. Тезисы докладов. Книга 4. Математическое моделирование и проектирование. 28 июня - 1 июля 1996г.- Казань, 1996, с.62.

34. Сиразетдинов Р.Т., Файзутдинов Р.Н. Моделирование мощности системы защиты Земли от опасных космических объектов.- II Республиканская научная конференция молодых ученых и специалистов. Тезисы докладов. Книга 4. Математическое моделирование и проектирование. 28 июня - 1 июля 1996г.- Казань, 1996, с.63.

35. Иваненко И.С., Сиразетдинов Р.Т. Математическое описание задач пользователей авиационной транспортной системы // Изв. вузов. Авиационная техника. 1996. N2. С.94-99.

6. Serazetdinov R.T., Phajzutdinov R.N. The capasity modeling of ngerous Space Objects shielding orbital satellite system. - The urth International Workshop (6-14 September, 1996) "MULTIPLE ITERIA AND GAME PROBLEMS UNDER UNSERTANTY". Abstrcts. - Moscow, 96. p.102.
7. Сиразетдинов Р.Т. Один подход к моделированию АОС как сложной стемы. Труды Международного семинара "Искусственный интеллект в разовании. Казань, 1-4 октября 1996г. Часть II.- Казань, 1996, 72-77.
8. G.L.Degtjarev, R.N.Phajzutdinov, Sirazetdinov R.T. The gorithms for constructions of the set of near-earht objects tercept realisable trajectories. RUSSIAN-AMERICAN SCIENTIFIC URNAL. ACTUAL PROBLEMS OF AVIATION AND AEROSPACE SYSTEMS: ocesses, models, experiment. Kazan - Daytona Beach.1996, N2, 31-38.