

В.В. САЛМИН, В.И. КУРЕНКОВ, А.Г. ПРОХОРОВ

ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

САМАРА 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П.КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

В. В. САЛМИН, В. И. КУРЕНКОВ, А. Г. ПРОХОРОВ

ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Под общей редакцией

*Заслуженного деятеля науки Российской Федерации
доктора технических наук, профессора В. В. Салмина*

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева» в качестве учебного пособия для обучающихся по основной образовательной программе высшего образования по специальности 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов и по направлению подготовки 24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика

САМАРА

Издательство Самарского университета

2024

УДК 629.78.01(075)

ББК 062-02я7

С164

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. П. К. Кузнецов,
д-р техн. наук, проф. И. В. Белоконнов

Салмин, Вадим Викторович

С164 **Основы методологии научных исследований и инженерной деятельности:** учебное пособие / В. В. Салмин, В. И. Куренков, А. Г. Прохоров; под общ. ред. В. В. Салмина. – Самара: Издательство Самарского университета, 2024. –260 с.: ил.

ISBN 978-5-7883-2053-3

В учебном пособии изложена краткая история развития науки и технологий, приведены постановка задачи научно-технической проблемы и этапы научно-исследовательской работы, проектно-исследовательские задачи, возникающие при синтезе сложных технических систем. Представлены иерархическая система моделей для проектно-исследовательских работ, методы учета неопределенных факторов при синтезе технической системы. Рассмотрены основные направления научных исследований и перспективных разработок в области аэрокосмических технологий Самарского университета.

Пособие может быть полезно студентам, аспирантам для повышения их квалификации в вопросах методологии проведения научных исследований, а также молодым специалистам ракетно-космической отрасли.

УДК 629.78.01(075)

ББК 062-02я7

ISBN 978-5-7883-2053-3

© Самарский университет, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	8
ВВЕДЕНИЕ	10
1 КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ	13
1.1 Возникновение научного знания.....	13
1.2 История важнейших достижений науки и появление отдельных научных дисциплин	15
1.3 Научные заблуждения.....	22
1.4 Проблема искусственного интеллекта и философские аспекты науки	25
1.5 Основные понятия методологии научных исследований	28
1.6 Методы научного познания	38
1.7 Связь науки и инженерной деятельности.....	47
1.8 Наука и преподавание	49
2 ПОСТАНОВКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ, ЭТАПЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ И ЗАДАЧИ НАУКИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ.....	50
2.1 Методы выбора и цели направления научного исследования.....	50
2.2 Этапы научно-исследовательской работы	55
2.3 Актуальность и научная новизна исследования	59
2.4 Выдвижение рабочей гипотезы	62
2.5 Обработка научной информации, ее фиксация и хранение. Электронные формы информационных ресурсов	65
2.6 Наука на современном этапе	71
2.7 Соотношение науки и математики.....	76
2.8 Достоверность результатов и адекватность математических моделей.....	80
2.9 Философские аспекты науки	83
3 ПРОЕКТНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ЗАДАЧИ ПРИ СИНТЕЗЕ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	88
3.1 Сложная техническая система – объект исследования и проектирования	88

3.2 Основные признаки СТС. Методы анализа и синтеза СТС	93
3.3 Содержание и взаимосвязь основных этапов синтеза технических систем	96
3.3.1 Система и внешняя среда	97
3.3.2 Цель системы	99
3.3.3 Критерии эффективности СТС	100
3.3.4 Структура системы	101
3.3.5 Управление и информационное обеспечение	103
3.3.6 Материально-энергетическое обеспечение	104
3.3.7 Целостность системы	105
3.3.8 Элементы исследования систем	105
3.4 Основные этапы исследования систем	107
3.5 Задачи структурно-параметрического синтеза СТС. Декомпозиция проектно-исследовательской задачи	109
4 ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОЕКТНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ	116
4.1 Модели для синтеза систем	116
4.2 Методы построения моделей	121
4.3 Учет возможностей современной вычислительной техники	123
4.4 Модели для различных этапов проектно-исследовательских работ	131
4.5 Имитационное моделирование при проведении проектно-исследовательских работ	135
4.6 Модели управляемых процессов	143
5 МЕТОДЫ УЧЕТА НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ ФАКТОРОВ ПРИ СИНТЕЗЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	147
5.1 Применение байесовского подхода при выработке рекомендаций... 147	
5.2 Основные типы задач, решаемых при проектировании СТС	153
5.3 Разновидности неопределенностей, устранение и учет	156
5.4 Модели слабоструктурированных систем	160
5.5 Задачи и организация коллективных экспертных оценок	163
5.6 Формализация информации с помощью балльных шкал	166
5.7 Формирование альтернатив	168

6 ПРОБЛЕМА ОПТИМИЗАЦИИ	
В ПРОЕКТНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧАХ	170
6.1 Введение в проблему.....	170
6.2 Постановки и методы решения оптимизационных задач	171
6.3 Итерационные методы безусловной оптимизации	178
6.3.1 <i>Градиентные методы</i>	179
6.3.2 <i>Метод сопряженных градиентов</i>	181
6.4 Методы нулевого порядка	182
6.5 Многокритериальные задачи оптимизации	187
6.6 Принцип Парето. Выделение множества предпочтительных решений.....	191
6.7 Критерии оптимальности в задачах проектирования аэрокосмической техники. Использование критерия «эффективность – стоимость».....	194
7 РЕГЛАМЕНТАЦИЯ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ САМАРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА	201
7.1 Научные школы	201
7.2 Российская Академия Наук	202
7.3 Научные степени и звания России	203
7.4 Приоритетные научные исследования	206
7.5 Концепция космических исследований.....	211
7.6 Направления научной и учебно-исследовательской деятельности кафедры космического машиностроения имени Генерального конструктора Д.И. Козлова.....	213
7.7 Структура научной работы	224
7.8 Финансирование научной и инновационной деятельности.....	225
8 ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ КАФЕДРЫ И НИИ КОСМИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ	233
8.1 Основные направления деятельности кафедры и НИИ космического машиностроения	233
8.2 Основные научно-технические разработки НИИ космического машиностроения.....	234

8.2.1 НИОКР «Проектирование, создание и эксплуатация группировки малых космических аппаратов «АИСТ» на орбите».....	234
8.2.2 НИОКР «Разработка унифицированной маломассогабаритной космической платформы для создания малых космических аппаратов различного целевого назначения».....	237
8.2.3 НИОКР «Разработка проектного облика и методики построения опытно-технологического МКА наблюдения для проведения научно-технологических экспериментов»	237
8.2.4 НИОКР «Создание многоуровневой глобальной университетской аэрокосмической системы».....	239
8.2.5 НИОКР «Разработка технологии транспортировки, развертывания и управления информационной космической системы на базе большой дифракционной мембраны на геостационарной орбите»	240
8.2.6 НИОКР «Разработка технологий нисходящего проектирования, конструирования и наземной экспериментальной отработки перспективных космических средств дистанционного зондирования Земли с увеличенным сроком функционирования и комбинированных блоков выведения тяжелых полезных нагрузок на геостационарную орбиту ракетами-носителями среднего класса семейства «Союз-2».....	242
8.2.7 НИОКР «Разработка методики определения области допустимых проектных параметров КА с увеличенным сроком активного функционирования, входящего в КС глобального наблюдения»	243
8.2.8 НИОКР «Анализ динамических характеристик звеньев контура продольной устойчивости движения РН, исследование характеристик устойчивости с учетом упругости конструкции и жидкого наполнения баков»	244
8.2.9 НИОКР «Разработка методики проектирования низкоорбитальных космических аппаратов, предназначенных для цифрового картографирования»	246

8.2.10 НИОКР «Разработка методики расчета динамических процессов разделения и отделения крупногабаритных конструкций РН типа ГО, ХО с использованием конечно-элементных моделей конструкций»	248
8.2.11 НИОКР «Разработка программно-аппаратного комплекса «Проектирование мониторинговых и транспортных космических систем»	249
8.2.12 НИОКР «Создание центра превосходства по прорывному направлению научной деятельности – космическое машиностроение».....	252
8.3 Проект создания и развития молодежного экспериментального космического конструкторского бюро на базе СГАУ	254
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	257

ПРЕДИСЛОВИЕ

В учебном пособии «Основы методологии научных исследований и инженерной деятельности» изложены современные тенденции развития науки. Вопросы, связанные с фундаментальными исследованиями, приведены на основе публикаций в научной литературе.

Учебное пособие в основном предназначено студентам специальности 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов, изучающим дисциплину «Учебно-исследовательская работа студентов» (УИРС), в которой, помимо теоретического обоснования методологии научных исследований, выполняется исследовательская работа по изучению некоторых актуальных вопросов в области ракетостроения и космической техники.

Ракетно-космическая техника и их системы постоянно совершенствуются, применяются передовые технологии, основанные на научных разработках в различных областях знания. Все эти вопросы в той или иной степени отражены в учебных планах специальности «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов».

Дисциплина «Учебно-исследовательская работа студентов» (УИРС) наряду с другими дисциплинами составляет основу теоретической подготовки инженеров и играет роль базы, без которой невозможна успешная деятельность инженера.

Учебное пособие написано на основе лекций профессоров В. В. Салмина, В. И. Куренкова и доцента А. Г. Прохорова, а также основано на многолетнем опыте педагогической деятельности и выполнения научно-исследовательских работ кафедры космического машиностроения имени Генерального конструктора Д. И. Козлова. Используются оригинальные материалы специали-

стов в области методологии научных исследований, которые приведены в списке литературы [1 – 15].

Авторы сочли возможным не делать многочисленные ссылки на использованные источники с целью обеспечения удобства зрительного восприятия учебного материала.

Учебное пособие может быть полезно аспирантам для повышения их квалификации в вопросах методологии проведения научных исследований, а также молодым специалистам ракетно-космической отрасли, желающим поступить в аспирантуру.

Авторы благодарят рецензентов, доктора технических наук, профессора П. К. Кузнецова и доктора технических наук, профессора И. В. Белоконова за ценные замечания и рекомендации, которые были учтены при подготовке рукописи учебного пособия к изданию.

Авторы также выражают глубокую признательность сотрудникам кафедры космического машиностроения имени Генерального конструктора Д. И. Козлова – Валиуллиной О. В., подготовившей рукопись к печати, и кандидату технических наук, доценту Петрухиной К. В., выполнившей научное редактирование при подготовке рукописи к печати.

ВВЕДЕНИЕ

Наука – это сфера человеческой деятельности, функция которой – выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности.

Наука – одна из форм общественного, сознания; которая включает как деятельность по получению нового знания, так и её результат – сумму знаний, лежащих в основе научной картины мира.

Наука по самой сути своей призвана облегчать труд и жизнь людей, увеличивать власть общества над силами природы или помочь приспособляться к ним, указывать реальные пути совершенствования человека и общества.

Наука на современном этапе не только помогает понять суть проблем и дать рекомендации по их решению, но и становится производительной силой. Складывается единая система «наука – техника – производство», в которой науке принадлежит ведущая роль.

Одними из значимых направлений фундаментальной науки являются исследования вселенной и физики космоса, которые помогают не только расширять научные представления о происхождении и эволюции вселенной, но и позволяют глубже понять законы микромира, а также попытаться решить философские вопросы значимости человеческой жизни на Земле во взаимосвязи с бесконечным космосом.

Другими важными научными направлениями являются фундаментальные и прикладные исследования, связанные с созданием космических средств исследования объектов и их доставки в определённое место космического пространства или на планеты с помощью ракетно-космической техники и их систем.

Одна из главных особенностей науки – доказуемость истинности научных положений.

Отличительной особенностью науки является то, что она свои положения основывает не на вере и преклонении перед авторитетом, а на объективных, достоверных доказательствах и проверке их экспериментальными исследованиями или общественно-исторической практикой человечества, являющимися объективными критериями истинности научных положений.

Положение о проверке данных наукой и практикой не следует понимать таким образом, будто каждый научный вывод может быть немедленно после его формулирования проверен на практике.

Невозможность «немедленно» подтвердить научные предположения в ряде случаев относится и к выводам современной науки. Например, в данное время невозможно окончательно проверить истинность космогонических гипотез, гипотез о возникновении жизни и т. п.

Однако невозможность опытной проверки в данное время вовсе не означает принципиальной невозможности проверки научных положений практикой. Так, существование гравитационных волн было предсказано А. Эйнштейном в 1916 году, а экспериментальное подтверждение этой гипотезы исследователями различных стран было проведено значительно позже.

Фундаментальные научные исследования в естественных или социальных науках имеют целью изучить какие-либо новые явления. Иногда толчком к развитию фундаментальных исследований становятся открытия. Например, открытие радиоволн, радиоактивности, полупроводников, лазера и др.

Фундаментальные научные исследования, проводимые в данный момент времени, могут дать экономическую отдачу обществу только в будущем, а могут и не дать такой отдачи. Поэтому фундаментальная наука, как правило, существует только на деньги налогоплательщиков. Она не самокупаема.

Прикладные науки, как правило, имеют своей целью разработку новых или совершенствование существующих методов, моделей, средств и т.п., применение которых позволит получать экономический эффект уже в недалеком будущем. Прикладные исследования используют результаты фундаментальных наук. Например, создание радиоприемников, атомной бомбы, компьютеров, мобильной связи, космических аппаратов и т. п.

При решении научной проблемы очень важным аспектом является методология исследования и используемый математический аппарат, экспериментальные установки, порой очень дорогостоящие.

Для экспериментатора нужна хорошая материальная база: помещение со всевозможным специальным оборудованием, большой ассортимент приборов, необходимость выполнения специальных заказов, специальные материалы, мастерские, обученный штат лаборантов и пр. Темпы и успех работы обусловлены совершенством этой материальной базы.

Научный руководитель, обладающий опытом научной работы в конкретной области, может сократить ученикам путь роста их квалификации от инженерного до научного работника и указать пути поиска решения исследуемой проблемы.

1 КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

1.1 Возникновение научного знания

Происхождение науки связано с запросами материальной практической жизни людей, постепенного накопления и обособления знаний о различных сторонах действительности.

Первые попытки научного знания возникли в древние времена, но в то время они не отождествлялись с термином «наука». Эти попытки возникли на основании потребностей социально-экономического развития общества.

Фридрих Энгельс в 1884 году издал научную работу «Происхождение семьи, частной собственности и государства», в которой отобразил этапы становления человеческого общества, в том числе, становление научного знания, способствующего прогрессу человечества.

Зачатки научных знаний возникли на *средней ступени дикости* (здесь и далее – по классификации Ф. Энгельса) и начались с введения рыбной пищи специальными средствами (удочками, вершами, сетями), с применения огня и его добычей трением.

Использование средств передвижения по воде (деревья, камышовые лодки) способствовало передвижению людей по течению рек и вдоль морских берегов и расселению их на большей части земной поверхности.

Каменные грубообработанные орудия (ножи, топоры, копья) стали средствами защиты от животных и средствами охоты на них, а затем средствами копки земли, вследствие чего появились новые продукты питания – корни и клубни, содержащие крахмал.

Высшая ступень дикости начинается с изобретения лука и стрелы, благодаря которым дичь стала постоянной пищей, а охо-

та – одной из обычных отраслей труда. Лук, тетива и стрела составляют уже очень сложное орудие, изобретение которого предполагает долго накапливаемый опыт и более развитые умственные способности.

Появились деревянные сосуды и утварь, ручное ткачество (без ткацкого станка) из высушенных стеблей растений, плетеные корзины из лыка или камыша, каменные орудия стали шлифоваться.

Огонь и каменный топор дали также возможность делать лодки из цельного дерева и изготавливать бревна и доски для постройки жилища.

Низшая ступень варварства начинается с введения гончарного ремесла. Оно было связано своим возникновением обмазыванию плетеных или деревянных сосудов глиной с целью сделать их огнеупорными. Далее пришли к выводу, что формованная глина служит этой цели и без внутреннего сосуда.

Средняя ступень варварства начинается с приручения домашних животных, дающих молоко и мясо. Образование стад вело к пастушеской жизни в пригодных для этого местах. Считается, что возделывание съедобных растений, в том числе и при помощи орошения, привело к осёдлому образу жизни. Для построек стали использоваться высушенные на солнце кирпичи-сырцы.

С шестого тысячелетия до н. э. появились медные орудия труда, а с четвертого тысячелетия до н. э. стали применяться бронзовые орудия труда, которые были прочнее медных.

Высшая ступень варварства начинается с плавки железной руды (IX – VII века до н. э.), которую использовали первобытные племена Европы и Азии, и переходит в цивилизацию в результате изобретения буквенного письма и применения его для записывания словесного творчества (в Месопотамии).

Впервые появились плуг с железным лемехом, железные топоры, лопаты. Домашний скот стал использоваться в качестве тяг-

ловой силы. Благодаря этим и другим средствам стало возможно практически неограниченное для тогдашних условий увеличение жизненных припасов и, как следствие, начался быстрый рост населения.

Начало цивилизации связано с главным наследием, которое греки перенесли из варварства в цивилизацию. Это усовершенствованные железные орудия, кузнечный мех, ручная мельница, гончарный круг, изготовление растительного масла и виноделие, развитая обработка металлов, переходящая в художественное ремесло, повозка и боевая колесница, постройка судов из бревен и досок, зачатки архитектуры как искусства, города, окруженные зубчатыми стенами с башнями, гомеровский эпос и вся мифология.

1.2 История важнейших достижений науки и появление отдельных научных дисциплин

Математика возникла в связи с необходимостью вести счёт предметов, учитывать имущество, рассчитывать площади и объёмы физических объектов.

Возникновение *геометрии* связано с необходимостью измерять площади земельных участков, вместимости сосудов и др.

Астрономия обязана своим происхождением потребностям ориентироваться в пространстве и во времени, знать закономерности смены времён года, движения Солнца и др. небесных тел.

Механика обязана своим происхождением потребностью строить здания, плотины, военные крепости, корабли, механизмы, перемещать грузы, создавать средства передвижения и др.

Философия возникла из-за потребностей общества осмыслить место человека в природе и обществе. Она появилась в древней

Греции и достигла в то время высоких результатов. Философия рассматривала природу и общество как единое целое.

Таким образом, практика, развитие производительных сил не только обусловили возникновение науки, но и явились главной побудительной причиной её дальнейшего прогресса.

Широкое развитие науки в средние века связано с возникновением торговли, ремёсел, мореплавания, быстрым ростом городов, становлением и развитием промышленности. Именно к этому времени относится появление опытного естествознания, перешедшего к систематическому анализу явлений природы.

Великие географические открытия расширили знания о земном шаре, растительном покрове и животном мире, дали мощный толчок развитию географических наук, а особенно биологических.

На смену геоцентрической модели мироздания К. Птолемея (ок. 100 – ок. 170) пришла гелиоцентрическая система мира, основателем которой считается Н. Коперник (1473 – 1543).

Появление оптических приборов позволило проникнуть в ранее недоступные области космоса и микромира. Г. Галилей (1564 – 1642) первым использовал телескоп для наблюдения небесных тел, сделал ряд выдающихся астрономических открытий и заложил фундамент классической механики. Он был сторонником гелиоцентрической системы мира, что привело его к конфликту с католической церковью.

Развитие классической физики связано с именем И. Ньютона (1642 – 1727), который сформулировал три основных закона механики (законы Ньютона).

Научные достижения в области математики связаны с именами Г. Лейбница (1646 – 1716) и И. Ньютона, которые независимо друг от друга создали дифференциальное и интегральное исчисления, явившиеся важным инструментом познания действительности.

Все эти и другие открытия способствовали утверждению материалистического взгляда на природу. Вместе с тем науке того периода было свойственно представление о неизменяемости мира и обособленности отдельных его частей. Знания об обществе, о социальных отношениях людей в этот период еще не были научными.

С конца XVIII века начинается новый период в развитии науки, мощным толчком для которого послужил промышленный переворот, связанный с применением в производстве рабочих машин и парового двигателя.

К наиболее важным достижениям естествознания этого периода относятся:

- закон сохранения вещества при химических реакциях (М. В. Ломоносов, А. Л. Лавуазье);
- космогоническая гипотеза Канта – Лапласа;
- атомистика Дж. Дальтона;
- закон сохранения и превращения энергии (Р. Манер, Г. Гельмгольц, Дж. Джоуль и др.);
- клеточная теория (Я. Пуркине, Т. Шванн и др.);
- теория эволюции видов Ч. Дарвина;
- периодический закон химических элементов Д. И. Менделеева;
- неевклидова геометрия Н. И. Лобачевского;
- теории прибавочной стоимости К. Маркса и др.

Фундаментальные открытия в области электромагнетизма (М. Фарадей, Дж. Максвелл, Г. Герц и др.) привели к появлению новых отраслей техники – электротехники, а в самом конце XIX века и радиотехники (А. С. Попов), преобразивших многие сферы жизни и деятельности человека.

Открытия в физике конца XIX века, крупнейшим из которых было явление радиоактивности (А. Беккерель, П. Кюри)

М. Склодовская-Кюри, Э. Резерфорд, Н. Бор и др.), привели к более глубокому познанию строения материи, к проникновению внутрь атома и его ядра.

В начале XX века стало ясно, что законы так называемой классической механики справедливы только для макротел и сравнительно малых скоростей. Возникли новые учения о времени и пространстве (теория относительности – А. Эйнштейн), теория движения микрочастиц (квантовая механика – М. Планк, Л. де Бройль, Э. Шрёдингер и др.).

Достижения физики сделали возможным создание атомного и термоядерного оружия, промышленное использование атомной энергии (первая атомная электростанция построена в 1954 в СССР).

В начале пятидесятых годов в СССР, а затем и в других странах начаты исследования по управлению термоядерными реакциями, которые в будущем сулят человечеству неисчерпаемый источник энергии.

Запуск искусственных спутников Земли в СССР (1957), первое достижение поверхности Луны (1959) и планет положили начало непосредственного изучения космического пространства и планет Солнечной системы.

Выдающимся достижением науки XX века является создание сложных автоматических приборов и устройств, а также электронных вычислительных машин.

Важное практическое значение получили исследования полупроводников, которые находят широкое использование в радиоэлектронной и вычислительной технике.

Первые научные знания применялись в практической деятельности ранних человеческих обществ, когда неразрывно соединялись производственные и познавательные процессы. Поэтому знания первоначально носили практический характер, исполняя

роль методических руководств для конкретных видов человеческой деятельности.

В странах Древнего Востока (Египет, Индия, Китай) было накоплено значительное количество знаний, которые явились важной предпосылкой для будущей науки. В этот период появляются первые признаки, связанные с организацией исследований и воспроизводства субъекта научной деятельности. Возникают и консолидируются ученые сообщества, научно-исследовательские и учебные заведения. Например, в Древнем Египте уже тогда существовало своеобразное высшее научное учреждение – «дом жизни», где накапливались наиболее ценные достижения производства и интеллектуального труда.

Древнегреческая наука (Демокрит, 460 – 370 гг. до н. э.; Аристотель, 384 – 322 гг. до н. э.) дала первые описания закономерностей развития природы, общества и мышления. Некоторые историки считают, что математика и научное познание в целом берут свое начало в Древней Греции. Особое место занимает деятельность Фалеса Милетского. Он первым поставил вопрос о необходимости доказательства геометрических утверждений и осуществил целый ряд таких доказательств. Греческая философия, особенно в начальный период ее развития, отличалась стремлением понять сущность природы, космоса и мира в целом. Первые греческие философы размышляли о происхождении мира, его строении, пытались постигнуть его начала и причины. Поэтому их и называли – «физиками», от греческого слова «фюсис» – природа.

В Древней Греции в практику мыслительной деятельности была введена система абстрактных понятий, появилась традиция поиска объективных законов мироздания. В этот период создавались первые теоретические системы в геометрии (*Евклид, III век до н. э.*), механике (*Архимед, 287 – 212 гг. до н. э.*) и астрономии (*Птолемей, II век до н. э.*). Огромный вклад в развитие науки в эпоху Средневековья внесли известные ученые Арабского

Востока и Средней Азии (*Ибн Сина, 970 – 1037 гг.; Бируни, 973 – 1048 гг. и др.*), которые сохранили и углубили древнегреческие научные традиции. Они обогатили науку в таких областях знания, как медицина, философия, математика, астрономия, физика, геология, история и др.

В *Средневековой Европе* получили широкое развитие схоластика, алхимия и астрология. *Схоластика* – это тип религиозной философии, характеризующийся полным подчинением теологии (богословию), соединением догматических предпосылок с рационалистической методикой и интересом к формально-логическим проблемам.

Старейшими университетами являются Болонский (1119), Парижский (1160), Оксфордский (1167), Кембриджский (1209), Падуанский (1222), Неаполитанский (1224). Наука в современном понимании начала складываться в XVI – XII вв. В этот период было подорвано господство религиозного мышления, и наука начала превращаться в самостоятельный фактор духовной жизни. Именно тогда наука берет на вооружение эксперимент, который является ведущим методом исследования. В Риме (1603) создается первая академия наук – Академия Деи Личеи, членом которой был Г. Галилей. В Лондоне (1660) основывается один из ведущих научных центров Европы – Лондонское королевское общество, которое с 1665 года издает «Философские записки» – один из старейших научных журналов мира.

Оценка наиболее значимых научных результатов от имени профессионального журнала становится нормой. Успехи науки этого периода (*Галилей, 1564 – 1642 гг., Декарт, 1595 – 1650 гг., Ньютон, 1643 – 1727 гг. и др.*) способствовали тому, что она стала выступать как высшая культурная ценность. Произошла первая научная революция, которая привела к формированию механистической картины мира.

Значительные изменения в организации исследований (прежде всего химических и физических) происходят в середине XIX в. На смену ученым-одиночкам и традиционным кабинетам приходят научно-исследовательские лаборатории. Первые лаборатории были открыты при Лейпцигском, Геттингенском, Гейдельбергском университетах. В 1872 году в России была организована первая лаборатория по инициативе физика А. Г. Столетова. Впоследствии многие лаборатории преобразуются в научно-исследовательские институты. Таким образом, создаются предпосылки для формирования научных школ.

С возникновением университетских исследовательских лабораторий связано рождение современной науки, так как они привлекали к своей работе студентов и проводили исследования, имеющие важное прикладное значение. Новая модель образования привела к появлению на рынке таких товаров, разработка которых предполагала доступ к научному знанию. Например, с середины XIX века на мировом рынке появляются различные ядохимикаты, удобрения, взрывчатые вещества, электротехнические товары и т.д. Кризис классической науки и крах механистического мировоззрения пришелся на конец XIX и начало XX века. Это было связано с открытием электронов и явления радиоактивности, а также с появлением теории относительности Эйнштейна. Кризис разрешился новой революцией. В науке резко возрос объем коллективного труда, появилась прочная взаимосвязь с техникой.

В XX веке произошел быстрый рост методологических исследований. Это было обусловлено революционными изменениями в науке, технике, социальной и других сферах жизни общества. Довольно сильное влияние на развитие методологии оказали процессы интеграции и дифференциации научного знания, коренные преобразования классических и появление множества новых дисциплин, а также превращение науки в непосредственную произво-

дительную силу общества. Сегодня перед обществом возникает множество глобальных проблем, связанных с экологией, демографией, урбанизацией, освоением космоса и других, для решения которых требуются крупномасштабные программы, реализуемые благодаря взаимодействию многих наук. Возникает необходимость связать воедино усилия специалистов разного профиля и объединить различные представления и способы решения в условиях принципиальной неполноты и неопределенности информации о комплексном объекте (системе). Все эти проблемы привели к разработке таких методов и средств, которые смогли бы обеспечить эффективное взаимодействие и синтез методов различных наук (системный подход, теоретическая кибернетика, концепция ноосферы В.И. Вернадского и др.).

1.3 Научные заблуждения

Процесс развития науки противоречив, носит сложный характер, и наряду с возможностью правильного обобщения фактов всегда существует и возможность отрыва теоретических построений от действительности, возможность преувеличения той или иной черты, грани, стороны действительности. Научные заблуждения имеют как социальные, так и гносеологические корни (связанные с теорией познания).

Приведём слова академика П. Л. Капицы: «Ошибки не есть ещё лженаука. Лженаука – это непризнание ошибок. Только поэтому она – тормоз для здорового научного развития».

Научные заблуждения – это группа концепций и учений, стремящихся к применению научной методологии к предметам ненаучного и вненаучного характера (в том числе к так называемым «паранормальным явлениям»).

Например, **алхимия** – начала натурфилософии – занималась широким кругом исследований, которые имели как религиозный, так и научный аспекты. Алхимия имела прогрессивный характер в области развития химии, металлургии и др. Но она занималась также поиском способов превращения различных химических элементов в золото, в частности, получения золота из свинца. В этой части алхимию связывают с научными заблуждениями.

Уфология – неофициальное название исследовательской дисциплины (квазинауки), занимающейся изучением феномена неопознанных летающих объектов (НЛО) и связанных с ним феноменов контактов с инопланетянами. Термин «уфология» происходит от аббревиатуры «UFO» (Unidentified Flying Object).

Уфология фигурирует в перечнях научных дисциплин и является классическим примером квазинауки.

В большинстве случаев в дальнейшем удаётся дать удовлетворительное объяснение сообщениям об НЛО (например, световые явления при ночных пусках ракет, появление бликов в оптике фотоаппаратов при ночных съёмках через стекло и др.).

Справедливости ради отметим, что имеются и отдельные необъяснимые на сегодняшний день явления (если они не связаны с психическим расстройством наблюдавших), но это вовсе не значит, что в дальнейшем они не будут объяснены с научной точки зрения.

Интерес к уфологии «подогревается» средствами массовой информации в погоне за рейтингом, часто используют непроверенные или выдуманные факты. В этом случае речь идёт не о «научных заблуждениях», а, скорее о сознательном вреде научным представлениям.

Астрология – группа описательных и предсказательных практик, традиций и верований, постулирующих воздействие небесных тел на земной мир и человека (на его темперамент, характер, поступки и судьбу) и, в частности, возможность предска-

зания будущего по движению и расположению небесных тел на небесной сфере и относительно друг друга.

Современная наука полностью отрицает действенность астрологических методик, квалифицируя астрологию как псевдонауку. Астрологию относят к суевериям, лженаучным учениям и к разновидности гадательной магии. Национальный научный фонд США использует астрологию в качестве «эталонной» лженауки.

Лишь небольшую часть астрологии учёные склонны признать научными – астрономические знания о движении планет.

Клавдий Птолемей (род. ок. 90...100 – ум. ок. 160...170) – древнегреческий ученый, разработал математическую теорию движения планет вокруг неподвижной Земли, позволявшую вычислить их положение на небе. Вместе с теорией движения Солнца и Луны она составила так называемую птолемееву систему мира. С современных позиций – это научное заблуждение, несмотря на то, что был использован математический аппарат и построены довольно сложные геометрические модели для оценки параметров их движения.

Феномен широкой популярности астрологических гороскопов, хиромантии и различных псевдонаук связан с тем, что она использует метафорический «символический язык», в котором одно и то же высказывание допускает множество различных интерпретаций. Астрологи часто используют профессиональную терминологию, принятую в психологии.

Интересно, что астрологию отвергает не только научное сообщество, но и основные конфессии. В Библии астрология, как одна из форм гадания запрещена, поскольку любое гадание трактуется как обращение к бесовским духовным силам. В католицизме астрология осуждается, наряду с магией, как одна из форм гадания, противоречащая вере. Согласно каббале (не следует путать с кабалой), нет никакой связи между каббалой и астрологией.

К научным заблуждениям относятся некоторые утверждения академика Т. Д. Лысенко (1898 – 1976) в биологии растений. Он, в частности, утверждал, что рожь может порождать пшеницу, пшеница может порождать ячмень, овёс может порождать овсюг и др., всё, якобы, зависит от условий подготовки семян и выращивания.

1.4 Проблема искусственного интеллекта и философские аспекты науки

Под искусственным интеллектом понимается комплекс технологических решений, позволяющих имитировать когнитивные функции человека и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые как минимум с результатами интеллектуальной деятельности человека.

Основные теоретические методы, применяемые в работе с искусственным интеллектом: представление знаний, приобретение знаний компьютерными системами, моделирование и автоматизация рациональных рассуждений и порождение познавательных гипотез, автоматизация планирования и целенаправленного поведения, автоматический анализ речи.

Сегодня искусственный интеллект достаточно «слабый»: может решать только те задачи, для которых он запрограммирован, а информацию извлекает из ограниченного набора данных. Должен появиться «сильный» искусственный интеллект, способный решать задачи на уровне человека и использовать стратегии, функционируя в условиях неопределенности.

У искусственного интеллекта иная рациональность, нежели у человеческого разума. Если действие человека отличается свободой выбора, осознанием того, что он делает, и ответственности за это, то по отношению к новым технологиям в этом плане возни-

кают вопросы. Непонятно, кто отвечает за действия искусственно-го интеллекта: разработчик, владелец или сама система?

Бесконтрольные разработки могут стать угрозой для человечества. На Западе в этой связи было введено понятие «доверенный искусственный интеллект», то есть доброжелательный по отношению к человеку.

Информационные технологии и технологии искусственного интеллекта можно назвать базовыми технологиями XXI века, на них будут основываться все без исключения направления развития, организации управления в самом широком диапазоне.

Наука по самой сути своей призвана облегчать труд и жизнь людей, увеличивать власть общества над силами природы, указывать реальные пути улучшения обществ, порядков. Но наука может создать и проблемы.

Наука содержит не только формулировку законов, теорем и др. объективных положений, но и теоретическое, философское их истолкование.

Естествознание не может развиваться, не применяя философских обобщений. Материалистическая философия, в отличие от идеалистической, учит, что человеческие знания не могут выражать объективную истину сразу, целиком, полностью. Они выражают её лишь приблизительно, относительно. Научные знания любой исторической эпохи суть ступеньки процесса познания абсолютной истины через сумму относительных истин. Они всегда дополняются, углубляются, и это предохраняет науку от окостенения, превращения в свод догматов; вместе с тем в каждый данный момент они настолько завершены, что способны успешно служить современной им практике.

Создание атомного и биологического оружия, нарушение экологического равновесия в природе, перенаселение планеты и др. могут привести к гибели человечества.

Проблема глобального потепления является предметом исследования учёных различных предметных областей. Физики дают подробную информацию, какие изменения могут произойти, где и почему. Другие специалисты исследуют, как экосистемы изменятся под влиянием изменений климата. Наконец третьи (экономисты, социологи) изучают возможности адаптации общества и экономики к таким изменениям.

Прежде всего, отметим, что термины «наука» и «знание» тесно связаны между собой. Часто в определениях науки фигурирует термин «знание».

В энциклопедиях, справочниках, популярных изданиях, в интернете и других источниках имеются различные определения «знания» и «науки», например, следующие.

Знание – это постижение действительности сознанием.

Знание – это результат процесса познавательной деятельности.

Знание – это наука (важная область знания, тяга к знаниям).

Знание – это совокупность сведений, познаний в какой-нибудь области (обладать знаниями, со знанием дела).

Знать – иметь сведения о чём-либо, иметь сведения в области научных знаний.

Наука – система знаний о закономерностях в развитии природы, общества и мышления.

Цель науки – описание, объяснение и предсказание процессов и явлений действительности, составляющих предмет её изучения, на основе открываемых ею законов.

Задача науки на современном этапе – построить единую систему «наука – техника – производство», в которой науке принадлежит ведущая роль.

Научные направления условно подразделяют на естественные, технические и общественные.

Естественные науки – это физико-математические, геолого-географические, химические, биологические и др.

Общественные науки – это философия, история, право, языкознание и др.

Технические науки – это совокупность научных направлений, связанных с созданием и использованием технических устройств и систем. Технические науки используют результаты естественных наук, в частности физики и математики. В свою очередь, технические науки принято делить на прикладные и фундаментальные.

1.5 Основные понятия методологии научных исследований

Наука является важнейшей составляющей духовной культуры. Она характеризуется следующими взаимосвязанными признаками:

- совокупность объективных и обоснованных знаний о природе, человеке, обществе;
- деятельность, направленная на получение новых достоверных знаний;
- совокупность социальных институтов, обеспечивающих существование, функционирование и развитие познания и знания.

Термин «наука» употребляется также для обозначения отдельных областей научного познания: математики, физики, биологии и т.д.

Задачами науки являются:

- собирание, описание, анализ, обобщение и объяснение фактов;
- обнаружение законов движения природы, общества, мышления и познания;
- систематизация полученных знаний;
- объяснение сущности явлений и процессов;
- прогнозирование событий, явлений и процессов;

– установление направлений и форм практического использования полученных знаний.

Функции науки. Важнейшая функция науки – быть производительной силой общества. Значение науки резко возросло в эпоху Возрождения, когда предметно-практическая деятельность достигла уровня, на котором многие задачи не поддавались решению без применения научных методов.

В XX веке наука превращается в передовую движущую производительную силу. Возникают новые отрасли производства, неразрывно связанные с новейшими открытиями в области радиоэлектроники, биотехнологий, информационных технологий и т.д. Наука становится сферой духовного производства, которая вырабатывает и предлагает практике надежно обоснованные программы и планы деятельности, выраженные в форме теоретических исследований или инженерно-конструктивных схем.

В эпоху Возрождения и раннего Просвещения начала проявляться мировоззренческая функция науки. В борьбе с религией науке пришлось отстаивать право на участие в становлении мировоззрения. К мировоззренческой функции близка и образовательная функция науки, так как главной задачей образования является приобщение человека к ценностям культуры, включающей кроме науки также мораль, религию, философию, искусство и т.д.

Классификация наук – это раскрытие их взаимной связи на основании определенных принципов и выражение этих связей в виде логически обоснованного расположения или ряда. Классификация наук раскрывает взаимосвязь естественных, технических, общественных наук и философии. В настоящее время различают науки в зависимости от сферы, предмета и метода познания:

- 1) о природе – естественные;
- 2) об обществе – гуманитарные и социальные;

3) о мышлении и познании – логика, гносеология, эпистемология и др.

В Классификаторе направлений и специальностей высшего профессионального образования выделены:

1) естественные науки и математика (физика, химия, география, механика, биология, геология, экология и другие);

2) гуманитарные и социально-экономические науки (филология, философия, история, политология, культурология, журналистика, психология, социология, экономика, искусство, физическая культура, искусство и другие);

3) технические науки (строительство, архитектура, электроника, геодезия, телекоммуникации, металлургия, горное дело, радиотехника и другие); сельскохозяйственные науки (агроинженерия, лесное дело, агрономия, зоотехника, ветеринария, рыболовство и др.).

Наука по методу познания подразделяется:

– на *эмпирические науки*, которые более углубленно изучают знания, полученные в результате материальной практики или благодаря непосредственному контакту с действительностью. Главными методами эмпирических наук являются наблюдения, измерения и эксперименты.

Наука, которая находится на эмпирическом уровне, занимается сбором фактов, их первоначальным обобщением и классификацией. Эмпирические познания предоставляют науке факты, при этом фиксируются устойчивые связи и закономерности окружающего нас мира;

– на *теоретическое знание*, которое является результатом обобщения эмпирических данных.

На теоретическом уровне формулируются законы науки, которые дают возможность объяснения и предсказания эмпириче-

ских ситуаций, т.е. познания сущности явлений. Всегда теоретическое знание опирается на эмпирическую действительность.

По отношению к практике науки подразделяют на *фундаментальные и прикладные*. Цель фундаментальных наук – познание основных законов природы, общества и мышления, а прикладных – практическая реализация результатов деятельности фундаментальных отраслей науки.

Непосредственными целями науки являются описание, объяснение и предсказание процессов и явлений действительности, составляющих предмет ее изучения на основе открываемых ею законов.

Наука как производство знаний представляет собой весьма специфическую форму деятельности человека. Она существенно отличается как от деятельности в сфере материального производства, так и от других видов духовной деятельности. Если в материальном производстве знания лишь используют, то в науке их получение является главной и непосредственной целью. Это не зависит от того, в каком виде воплощается эта цель, будь то схемы технологического процесса, теоретические описания, сводка экспериментальных данных и др. В отличие от других видов деятельности, результат которых известен заранее, т.е. задан до начала деятельности, научная дает начало приращению нового знания. Именно поэтому наука выступает как сила, революционизирующая другие виды деятельности.

Наука отличается от эстетического освоения действительности стремлением к максимально обобщенному объективному знанию. Если искусство развивает чувственно-образную сторону, творческие способности человека, то наука развивает в основном интеллектуальную сторону. Но науку и искусство объединяет творчески познавательное отношение к действительности.

Отношения между наукой и философией имеют тесную взаимосвязь. Философия по отношению к науке выполняет функцию методологии познания и мировоззренческой интерпретации результатов. Различные философские направления по-разному относятся к науке и принятым ею способам построения знания. Некоторые настроены к науке скептически иногда даже враждебно, другие же пытаются растворить философию в науке, игнорируя тем самым мировоззренческие функции философии. Знаменитые ученые всех времен, определившие главные направления развития науки, не только имели выдающиеся научные достижения, но и существенным образом повлияли на мировоззрение и стиль мышления своего времени.

Методология – это учение о структуре логической организации, методах и средствах деятельности (учение о принципах построения, формах и способах научно-исследовательской деятельности). Методология науки дает характеристику компонентов научного исследования – его объекта, предмета анализа, задачи исследования (или проблемы), совокупности исследования средств, необходимых для решения задачи данного типа, а также формирует представление о последовательности движения исследования в процессе решения задачи. Наиболее важным в методологии является постановка проблемы, построение предмета исследования, построение научной теории, а также проверка полученного результата с точки зрения его истинности.

Методология науки – это учение о принципах построения, способах и формах научного познания, т. е. это учение о структуре, логической организации, средствах и методах научной деятельности.

Гипотеза (от греч. hypothesis – основание, предположение) – это предположение о причине, которая вызывает данное след-

стве. В основе гипотезы всегда лежит предположение, достоверность которого на определенном уровне науки и техники не может быть подтверждена.

Гипотеза всегда выходит за пределы известных фактов и является направляющей силой для проведения теоретических или экспериментальных исследований. Любая гипотеза подвергается тщательной проверке, в результате которой убеждаются, что она не противоречит никаким другим уже доказанным гипотезам и что следствия, вытекающие из нее, совпадают с наблюдаемыми явлениями. В своем развитии гипотеза проходит три основных стадии:

- 1) накопление фактического материала и высказывание на его основе некоторых предположений;
- 2) развертывание предположений в гипотезу;
- 3) проверка и уточнение гипотезы.

Существуют основные правила выдвижения и проверки гипотезы:

- гипотеза должна находиться в согласии или быть совместимой со всеми факторами, которых она касается;
- из многочисленных противостоящих одна другой гипотез, выдвинутых для объяснения серии фактов, предпочтительнее та, которая объясняет наибольшее их число;
- для объяснения связи серии фактов нужно выдвигать как можно меньше разных гипотез;
- при выдвижении гипотезы необходимо сознавать вероятностный характер ее выводов;
- гипотезы, которые противоречат друг другу, не могут быть истинными. Исключением может быть случай, когда они объясняют различные стороны одного и того же объекта.

В случае, когда гипотеза согласуется с наблюдаемыми фактами, ее называют законом или теорией.

Закон – это необходимые, существенные, устойчивые, повторяющиеся отношения между явлениями в природе и обществе. Закон отражает общие связи и отношения, присущие всем явлениям данного рода, класса. Закон носит объективный характер и существует независимо от сознания людей. Главная задача науки и составляет познание законов, которые являются основой преобразования природы и общества.

Существует три основных группы законов:

- 1) специфические, или частные (например, закон сложения скоростей в механике);
- 2) общие для больших групп явлений (например, закон сохранения энергии);
- 3) всеобщие или универсальные (например, законы диалектики).

Для доказательства закона используются суждения, которые ранее уже признаны истинными и из которых логически следует доказываемое суждение.

Иногда в процессе познания можно доказать и противоречивые суждения. В таких случаях говорят о возникновении парадокса.

Парадокс (от греч. paradoxos – неожиданный, странный; неожиданное, непривычное, расходящееся с традицией утверждение, рассуждение или вывод) – это противоречие, полученное в результате внешне логически правильного рассуждения, но приводящее к взаимно противоречащим заключениям. Характерной чертой современной науки является её парадоксальность. Разрешение парадоксов является одним из методов совершенствования научных теорий. Основными путями разрешения парадоксов являются совершенствование исходных суждений в системе знаний и устранение ошибок в логике доказательств.

При проведении исследования логика доказательств подчиняется законам формальной логики, основными из которых являются закон тождества, закон противоречия, закон исключения третьего и закон достаточного основания.

Закон тождества: объем, и содержание мысли о предмете исследования в пределах одного рассуждения должны быть строго определены и оставаться неизменными в процессе рассуждения о нем. Закон требует, чтобы все понятия и суждения носили однозначный характер, исключали неопределенность и двусмысленность.

Одной из наиболее распространенных логических ошибок при выполнении научного исследования является подмена понятий. Суть этой ошибки состоит в том, что вместо определенного понятия под его видом употребляют другое понятие. Такая подмена может быть как преднамеренной, так и неосознанной.

Закон противоречия: в процессе рассуждений об определенном предмете нельзя одновременно утверждать и отрицать что-либо, в противном случае оба суждения не могут быть истинными. Этот закон требует, чтобы в ходе научных рассуждений не допускалось противоречивых утверждений. Закон противоречия используется в доказательствах. Если в процессе доказательства установлено, что одно из противоположных суждений истинно, то, следовательно, другое суждение ложно.

Закон противоречия может не действовать только в том случае, когда что-либо утверждается и отрицается относительно одного и того же предмета, рассматриваемого в разное время и в разном отношении.

Закон исключения третьего: процесс рассуждений должен быть доведен до определенного утверждения либо отрицания; в этом случае истинным оказывается одно из двух отрицающих друг друга суждений. Закон имеет силу только при условии соблюдения

законов тождества и противоречия. Он требует от исследователя определенных и ясных ответов, соблюдения последовательности в изложении установленных фактов.

Закон достаточного основания: в процессе рассуждения достаточными считаются лишь те суждения, истинность которых может быть подтверждена достаточным основанием. Под одно и то же утверждение можно подвести бесконечное множество оснований. Однако не все они могут рассматриваться как достаточные. Каждое суждение, используемое в научной работе, прежде чем быть принятым за истинное, должно быть обосновано. Этот закон помогает отделить истинное от ложного и прийти к верному выводу.

Теория (от греч. *theoria* – рассмотрение, исследование) – это форма научного знания, которая дает целостное представление о закономерностях и существенных связях действительности. Теория возникает в результате обобщения познавательной деятельности и практики.

К любой новой теории предъявляются следующие требования:

- научная теория должна быть адекватной описываемому объекту или явлению;
- она должна соответствовать эмпирическим данным;
- в ней должны существовать связи между различными положениями, обеспечивая переход от одних утверждений к другим;
- теория должна удовлетворять требованию полноты описания некоторой области действительности и объяснять взаимосвязи между различными компонентами системы;
- теория должна обладать конструктивностью, простотой и эвристичностью.

Эвристичность теории – это возможности, которые можно объяснить или предсказать на основе здравого смысла. **Конструктивность** теории состоит в простой проверяемости основных

ее положений. *Простота* теории достигается сокращением и уплотнением информации и введением обобщенных законов.

Структуру теории формируют факты и категории, аксиомы и постулаты, принципы, понятия и суждения, положения и законы. Теория всегда имеет объективное проверенное практикой обоснование.

Факт – это знание об объекте или явлении, достоверность которого доказана.

Категория – это наиболее общие и фундаментальные понятия, отражающие существенные, всеобщие свойства и отношения явлений действительности и познания. Категории образовались в результате обобщения исторического развития познания и общественной практики.

К наиболее известным категориям относятся, например, материя, пространство и время, количество и качество, противоречие, необходимость и случайность, сущность и явление и др.

Аксиома (от греч. *axiōta* – положение) – это положение, принимаемое без какого-либо логичного доказательства в силу его непосредственной убедительности (истинное исходное положение). Аксиомы очевидны без доказательств; из них выводят остальные предположения по заранее обусловленным правилам.

Постулат (от лат. *postulatum* – требование) – это утверждение (суждение). Он принимается в рамках какой-либо научной теории за истинное, хотя и недоказуемое ее средствами, и поэтому играющее в ней роль аксиомы.

Принцип (от лат. *prīncipiūm* – начало, основа) – это основное исходное положение какой-либо теории, учения, науки или мировоззрения. Под принципом в научной теории понимают абстрактное определение идеи, возникающее в результате субъективного осмысливания опыта людей.

Понятие – это мысль, в которой обобщаются и выделяются предметы (или свойства) класса (или явления) по определенным общим и в совокупности специфическим для них признакам.

Понятия характеризуются их содержанием и объемом. Содержание понятия – это совокупность признаков, которые объединены в данном понятии. Объем понятия – это круг тех предметов или явлений, на которые оно распространяется. Определением понятия называется раскрытие его содержания. В процессе развития научных знаний определения понятия могут уточняться, при этом в их содержательную часть вносятся новые признаки. Процесс исследования завершается определением, закрепляющим полученные научные результаты.

Суждение или высказывание – это мысль, выраженная в виде повествовательного предложения, которая может быть либо истинной, либо ложной.

Положение – это сформулированная мысль, высказанная в виде научного утверждения.

Открытие – это факт обнаружения чего-то нового или чего-то ранее непризнанного.

Таким образом, наиболее развитой формой обобщенного научного познания является теория. Овладев теорией, можно открывать новые законы, прогнозировать и предсказывать будущее.

1.6 Методы научного познания

Развитие науки идет от сбора фактов, их изучения, систематизации, обобщения и раскрытия отдельных закономерностей к логически стройной системе научных знаний, которая позволяет объяснить уже известные факты и предсказать новые.

Путь познания – это путь от живого созерцания к абстрактному мышлению.

Процесс познания, как и развитие науки, начинается со сбора фактов. Но факты сами по себе это еще не наука. Они становятся частью научных знаний лишь в систематизированном, обобщенном виде. Факты можно систематизировать с помощью простейших абстракций – понятий (определений), являющихся важными структурными элементами науки. Наиболее широкие понятия – категории (товар и стоимость, форма и содержание и т.д.).

Научные законы являются важнейшим составным звеном в системе научных знаний. Они отражают наиболее существенные, устойчивые, повторяющиеся, объективные, внутренние связи в природе, обществе и мышлении. Законы выступают в форме определенного соотношения понятий и категорий.

Наиболее высокой формой обобщения и систематизации является теория.

Теория – это учение об обобщенном опыте (практике), формулирующее научные принципы и методы, которые позволяют познать существующие процессы и явления, проанализировать действия различных факторов и предложить рекомендации по практической деятельности. Путем широкого использования общенаучных методов при проведении теоретических и экспериментальных исследований осуществляется выработка новых знаний.

Метод – это способ теоретического или экспериментального исследования какого-либо явления или процесса. Метод является инструментом решения главной задачи науки – открытия объективных законов действительности. Он определяет необходимость и место применения анализа и синтеза, индукции и дедукции, сравнения теоретических и экспериментальных исследований. Это орудие мышления исследователя.

Основными общенаучными методами являются: **анализ и синтез, индукция и дедукция, аналогия и моделирование, абстрагирование и конкретизация.**

Синтез (от греч. *synthesis* – соединение) – это метод исследования, который позволяет соединять элементы (части) объекта, расчлененного в процессе анализа, устанавливать связи между элементами и познавать объекты исследования как единое целое. Например, переход от исследования напряженно-деформированного состояния отдельного стержня в сопротивлении материалов к стержневой системе (раме, ферме, арке и их комбинациям) в строительной механике.

При изучении любого конкретного объекта исследования анализ и синтез используются одновременно, поскольку они взаимосвязаны.

Анализ (от греч. *analysis* – разложение) – это метод исследования, заключающийся в том, что предмет изучения мысленно или практически расчленяется на составные элементы (части объекта, или его признаки, свойства, отношения), при этом каждая из частей исследуется отдельно. Например, представление реального здания или сооружения в виде расчетной схемы и метод сечений.

Наиболее общая черта современной науки – это стремление к теоретическому синтезу. Он дает возможность объединять предметы или знания о них, то есть осуществлять их систематизацию. Системный подход в науке позволяет глубже синтезировать знания о предмете исследования.

Индукция (от лат. *induction* – наведение) – это умозаключение от фактов к некоторой гипотезе (общему утверждению). Различают *полную индукцию*, когда обобщение относится к конечно-обозримой области фактов и сделанное заключение полностью рассматривает изучаемое явление, и *неполную индукцию*, когда оно относится к бесконечной или конечно-необозримой области фак-

тов, а сделанное заключение позволяет составить лишь ориентировочное мнение об изучаемом объекте. Но это мнение может быть недостоверным.

Дедукция (от лат. deduction – выведение) – это вывод, сделанный по правилам логики, то есть переход от общего к частному. Дедукция – это форма научного познания, когда вывод делается на основе знаний о признаках всей совокупности. Это метод перехода от общих представлений к частным.

Аналогия (от греч. analogia – соответствие, сходство) – это метод научного познания, с помощью которого достигается знание об одних предметах или явлениях на основании их сходства с другими. Умозаключение по аналогии происходит в том случае, когда знание о каком-либо объекте переносится на другой менее изученный, но сходный с ним по существенным свойствам и качествам. Одним из основных источников научных гипотез являются именно такие умозаключения. Благодаря своей наглядности метод аналогий получил широкое распространение в науке и технике.

Метод аналогий является основой другого метода научного познания – метода моделирования.

Моделирование (от лат. modulus – мера, образец) – это метод научного познания, заключающийся в замене изучаемого объекта его специально созданным аналогом или моделью, по которым определяются или уточняются характеристики оригинала. При этом модель должна содержать все существенные черты реального объекта.

Одной из основных категорий теории познания является моделирование. На его идее базируется любой метод научного исследования, как теоретический, так и экспериментальный.

В современной науке и технике широко используется *теория подобия* (геометрического, физического, физико-механического),

которая служит основой для построения моделей и разработки теории эксперимента.

Абстрагирование (от лат. abstractio – отвлечение) – это метод научного исследования, основанный на том, что при изучении какого-либо явления (процесса) не учитываются его несущественные признаки и стороны. Это позволяет упрощать картину изучения явления. Абстракции сводятся к перестройке предмета исследования, т.е. замещению первоначального предмета другим. Абстрактное понятие противопоставляется конкретному, а абстрагирование – конкретизации.

Конкретизация (от лат. concretus – сгущенный, уплотненный, сросшийся) – это метод научного познания, с помощью которого выделяются существенные свойства, связи и отношения предметов или явлений. Он требует учета всех реальных условий, в которых находится исследуемый объект.

В процессе познания мысль движется от абстрактного, более бедного содержанием понятия к конкретному, более богатому содержанием.

Эти два метода научного познания, несмотря на свою методологическую противоположность, взаимно дополняют друг друга.

К методам научного познания, используемым на теоретическом уровне, относятся объяснение и формализация.

Метод научного познания – *объяснение*, с помощью которого составляется объективная основа изучаемого явления или процесса. Оно позволяет выдвинуть гипотезу или предложить теорию исследуемого класса явлений или процессов.

Формализация – это отображение объекта или явления в знаковой форме какого-либо искусственного языка (математики, химии и т.д.), с помощью которого производится формальное исследование их свойств. Осуществляется на основе абстракций, идеализации и введения искусственных символических знаков.

Примером использования формализации является математика, различные естественные и технические науки (физика, теоретическая механика, сопротивление материалов и т.д.), в которых вывод содержательного предложения заменяется выводом выражающей его формулы. Формализация дает возможность проведения систематизации, уточнения, методологического прояснения содержания теории и выяснения характера взаимосвязей ее различных положений. С ее помощью можно выявлять и формулировать еще не решенные проблемы. Гипотеза и теория, рассмотренные ранее как формы научного познания, также относятся к методам научного познания, как и наблюдение и эксперимент.

Наблюдение – это метод целенаправленного исследования объективной действительности в том виде, в каком она существует в природе и обществе и доступна непосредственному восприятию. Наблюдение отличается от восприятия (отражения предметов объективного мира) целенаправленностью, т.е. человек наблюдает то, что имеет для него теоретический либо практический интерес. При этом он отбирает только самые существенные факты, характеризующие объект исследования.

Различают **качественное наблюдение**, когда в процессе наблюдения выявляются качественные изменения в объекте или процессе, и **количественное**, когда фиксируются изменения их количественных параметров, не вызывающих при этом качественных изменений. Например, испытание изгибаемой железобетонной конструкции (балки на двух опорах) до разрушения. В процессе нагружения балки постепенно увеличивающейся внешней нагрузкой в ее поведении первоначально наблюдаются количественные изменения, которые выражаются в виде возрастающего прогиба. Затем при некоторой величине внешней нагрузки на ее боковой поверхности начинают появляться трещины, а это уже качественные изменения, фиксируемые наблюдателем. При дальнейшем

возрастании нагрузки увеличивается прогиб, соответственно, увеличивается ширина раскрытия трещин, и они появляются в новых местах.

Такие изменения носят количественный характер. Наконец, при определенной величине нагрузки без ее увеличения в течение определенного времени растут и прогибы балки, и ширина раскрытия трещин, что свидетельствует о начале качественно нового этапа разрушения.

Наблюдение должно удовлетворять определенным требованиям:

- наблюдение должно проводиться для четко поставленной задачи;
- в первую очередь при наблюдении должны рассматриваться интересующие стороны явления;
- наблюдение должно быть активным;
- при наблюдении необходимо искать определенные черты явления.

Любое научное наблюдение способствует выявлению дополнительных факторов и закономерностей развития наблюдаемых явлений или процессов и накоплению нового эмпирического знания.

Наблюдение должно вестись по плану и подчиняться определенной тактике. В некоторых случаях результаты наблюдения дают не только первичную информацию об объекте, но и при ее правильном объяснении могут привести к крупным научным открытиям. В связи с этим наблюдаемость является одним из важных качеств исследования.

Эксперимент (от лат. experimentum – проба, опыт, чувственно-предметная деятельность в науке; в более узком смысле – опыт, воспроизведение объекта познания, проверка гипотез и т.п.) – это метод научного познания, при котором происходит исследование

объекта в точно учитываемых условиях, задаваемых экспериментатором, позволяющий следить за изучаемым объектом и управлять им. Эксперимент, как и наблюдение, может быть *качественным* (обычно на ранних стадиях наблюдения) и *количественным*.

Преимущество экспериментального изучения объекта по сравнению с простым наблюдением заключается в следующем:

- возможность изучения свойств объекта в экстремальных условиях, что позволяет глубже проникнуть в сущность явлений (например, при разрушении объекта, при потере устойчивости элементов стержневых систем, при высоких и низких температурных воздействиях и т.п.);

- при необходимости многократное воспроизводство исследуемого явления;

- изучение свойств явлений, не существующих в природе в чистом виде;

- эксперимент можно повторить, а наблюдение не всегда.

Эксперименты могут быть *натуральными* и *модельными*.

Натуральный эксперимент изучает объекты в их естественном состоянии.

Модельный модернизирует объекты и позволяет изучить более широкий диапазон изменения объекта.

Эксперимент обычно ставят на заключительных стадиях исследования. Он является критерием интенсивности теорий и гипотез, а во многих случаях и источником новых теоретических представлений. Игнорирование эксперимента может привести к ошибкам.

Процесс подготовки и проведения экспериментального исследования обычно включает в себя несколько последовательных стадий.

Оптимизация процесса экспериментального исследования и управление научным поиском осуществляется на основе матема-

тической теории эксперимента, что способствует экономии времени и сокращению материальных затрат.

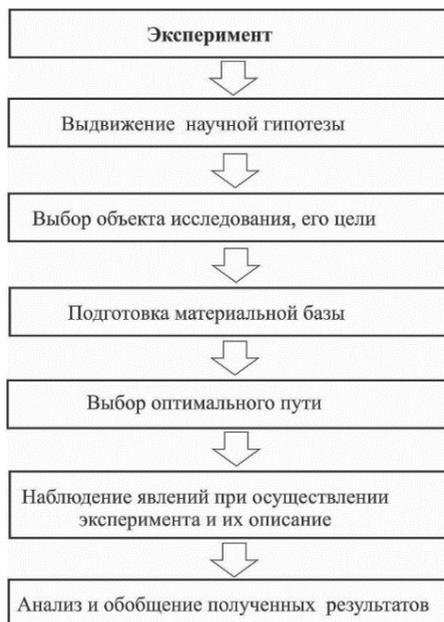


Рис. 1.1. Последовательные стадии эксперимента

Измерение – это процедура определения численного значения характеристик исследуемых материальных объектов (массы, скорости, температуры и т.д.). Все измерения производятся с помощью соответствующих измерительных приборов и сводятся к сравнению измеряемой величины с некоторой однородной величиной, принятой в качестве эталона.

В результате высококачественных измерений можно установить факты или определить эмпирические зависимости, сделать эмпирические открытия, приводящие к коренному изменению взглядов в какой-либо области знаний.

Абсолютно точным измерение не может быть, поэтому большое внимание уделяется определению погрешности измерения (при измерениях стремятся определить погрешность и уменьшить ее).

В каждой конкретной науке, кроме рассмотренных выше методов научного познания, существуют и свои, присущие только данной науке специальные методы (физические, математические, биологические методы и т.д.). Специальные методы исследования в результате взаимопроникновения различных наук находят применение и в других науках (например, математические методы в медицине, физиологии и т.п.).

Математические методы являются наиболее распространенными. Они широко используются в строительных науках. Примером могут служить матричные методы в строительной механике, применяемые при расчете статически неопределимых стержневых систем (метод сил, метод перемещений, смешанный метод, метод конечных элементов и др.).

1.7 Связь науки и инженерной деятельности

Инженерная деятельность характеризуется тем, что она пользуется плодами разработанных ранее методик расчета в той или иной сфере деятельности. Сложность предмета этой деятельности (например, проектирование космических аппаратов) или сложность используемых методик и инструментов реализации этих методик (ЭВМ, прикладные программы) не означает, что это научная деятельность.

Углубленные инженерные исследования начинаются тогда, когда возникают некоторые инженерные проблемы, когда инженер существующими в его распоряжении методиками и средствами не может решить поставленную задачу.

Иногда инженер не может решить какую-либо задачу в силу своей некомпетентности, или в силу ограниченности имеющихся у него сведения о существующих в мире передовых методиках в данной сфере деятельности.

Для решения таких проблем инженер изучает передовой опыт в данной области деятельности, читает специальную учебную и монографическую литературу, читает статьи в периодических научных и технических изданиях, проводит патентные исследования.

Если инженер находит ответ на свой вопрос и поставленную задачу он может решить, то вся его деятельность по отысканию путей решения проблемы является деятельностью по повышению его квалификации как инженера.

Если инженер не находит ответа на свой вопрос и поставленную задачу он решить не может, даже опираясь на существующий мировой опыт, то он может поставить перед собой задачу разработки новых методов, методик, моделей и т.п. для решения возникшей перед ним проблемы.

С этого момента начинается научная деятельность. Квалификация, инженера при этом естественно также повышается, но эта квалификация уже относится к научной деятельности.

Таким образом, основными признаками начала научной деятельности являются:

- отсутствие в мире (а не только за рабочим столом инженера) методов, методик и других средств для решения какой-либо проблемы, значимой для общества;
- попытки разработать новые методики, методы, средства и т.п. (новые в мировой практике) для решения поставленной уже научной, а не технической проблемы.

Результатом научных исследований может быть (а может и не быть) новые методы, методики, средства и т.п. для решения поставленной научной проблемы, которая ранее никем никогда не решалась.

Итак, прежде чем начать научную деятельность, необходимо узнать о данной проблеме все, что есть в мире, то есть провести патентные исследования, собрать всю библиографию по данному вопросу и изучить ее.

1.8 Наука и преподавание

Существует шуточный афоризм: «Если ты не настоящий учёный, то переходи в преподаватели». На самом деле это не так.

Помогает преподавание научным исследованиям или лишь отнимает время учёного? Ответ на этот вопрос дал в своё время известный советский учёный, академик П. Л. Капица (1994 – 1984): «Хороший учёный, когда преподаёт, всегда учится сам. Во-первых, он проверяет свои знания, потому что, только ясно объяснив другому человеку, можешь быть уверен, что сам понимаешь вопрос. Во-вторых, когда ищешь форму ясного описания того или иного вопроса, часто приходят новые идеи. В-третьих, те, часто нелепые, вопросы, которые задают студенты после лекций, заставляют с совершенно новой точки зрения взглянуть на то явление, к которому подходим всегда стандартно, и это тоже позволяет творчески мыслить».

Со своей стороны заметим, что фраза «Хороший учёный, когда преподаёт, всегда учится сам» относится к случаю, когда слушатели заинтересованы в обучении.

2 ПОСТАНОВКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ, ЭТАПЫ НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ И ЗАДАЧИ НАУКИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

2.1 Методы выбора и цели направления научного исследования

В научно-исследовательской работе различают научное направление, проблемы и темы.

Научное направление – это сфера исследований научного коллектива, посвященных решению крупных фундаментальных теоретически экспериментальных задач в определенной отрасли науки. Структурными единицами направления являются комплексные проблемы, темы и вопросы.

Проблема – это сложная научная задача. Она охватывает значительную область исследования и должна иметь перспективное значение.

Проблема состоит из ряда тем.

Тема – это научная задача, охватывающая определенную область научного исследования. Она базируется на многочисленных исследовательских вопросах, под которыми понимают более мелкие научные задачи. При разработке темы либо вопроса выдвигается конкретная задача в исследовании: разработать конструкцию, новый материал, технологию и т.д. Решение проблемы ставит более общую задачу, например, решить комплекс научных задач, сделать открытие.

Выбор постановки проблемы или темы является весьма сложной и ответственной задачей и включает в себя ряд этапов:

– формулирование проблемы;

– разработка структуры проблемы (выделяют темы, подтемы и вопросы);

– установление актуальности проблемы, т.е. ее ценности для науки и техники.

После обоснования проблемы и установления ее структуры приступают к выбору темы научного исследования. К теме предъявляют ряд требований: актуальность, новизна, экономическая эффективность и значимость.

Критерием для установления актуальности чаще всего служит экономическая эффективность. На стадии выбора темы экономический эффект может быть определен только ориентировочно. Для теоретических исследований требование экономичности может уступать требованию значимости.

Важной характеристикой темы является осуществимость или внедряемость, поэтому, формулируя тему, научный работник должен хорошо знать производство и его запросы на данном этапе.

Целью научного исследования является достоверное и всестороннее изучение объекта, процесса или явления, их структуры, связей и отношений на основе разработанных в науке научных принципов и методов познания, а также получение и внедрение в производство полезных для человека результатов.

В каждом научном исследовании выделяются объект и предмет исследования.

Объект научного исследования – это материальная идеальная природная или искусственная система.

Предмет научного исследования – это структура системы, закономерности взаимодействия как внутри, так и вне ее, закономерности развития, качества, различные ее свойства и т. д.

Научные исследования по характеру связей с производством и степени важности для народного хозяйства, целевому назначению, источникам финансирования и длительности выполнения

классифицируются на следующие основные виды: фундаментальные, прикладные и разработки (рис. 2.1).

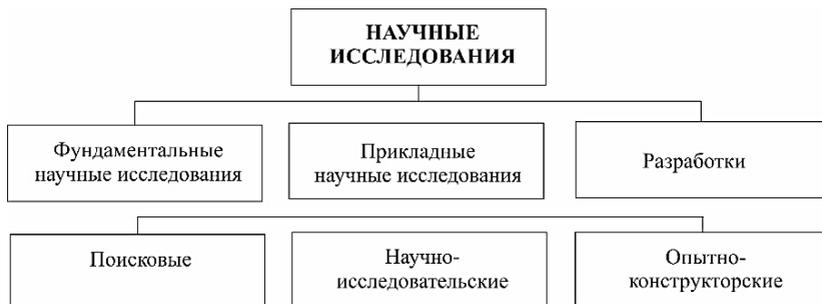


Рис. 2.1. Классификация научных исследований

Фундаментальные научные исследования направлены на открытие и изучение новых явлений и законов природы, создание новых принципов и методов исследования с целью расширения научного знания общества и установления их практической пригодности. Такие исследования ведутся на границе известного и неизвестного, обладают наибольшей степенью неопределенности.

Прикладные научные исследования направлены на поиск способов использования законов природы, создание новых и совершенствование существующих средств и способов человеческой деятельности. Они базируются на знаниях, полученных при проведении фундаментальных исследований. Прикладные исследования делятся на поисковые, научно-исследовательские и опытно-конструкторские.

При проведении **поисковых исследований** устанавливаются факторы, влияющие на объект, отыскиваются пути создания новой техники и технологий. В результате **научно-исследовательских работ** создаются новые технологии, опытные установки, приборы, образцы техники. При выполнении **опытно-конструкторских**

работ осуществляется подбор конструктивных характеристик, составляющих логическую основу создаваемой машины, прибора, конструкции.

В результате проведения фундаментальных и прикладных исследований происходит накопление новой научно-технической информации и преобразование её в форму, пригодную для освоения в промышленности и строительстве, т.е. приводит к разработке.

Разработка направлена на создание новой и совершенствование существующей техники, материалов, конструкций и технологий. Ее конечная цель – подготовка результатов прикладных исследований к внедрению.

Научные исследования по степени важности для народного хозяйства подразделяются:

- на важнейшие работы, выполняемые по специальным постановлениям государственных органов;
- на работы, выполняемые по планам отраслевых министерств и ведомств;
- на работы, выполняемые по инициативе и планам научно-исследовательских организаций.

В зависимости от источников финансирования научные работы также подразделяются:

- на госбюджетные, финансируемые из средств государственного бюджета;
- на хоздоговорные, финансируемые организациями-заказчиками на основе хозяйственных договоров;
- на нефинансируемые, выполняемые по договорам о сотрудничестве и по личной инициативе.

Каждую научно-исследовательскую работу относят к определенному **научному направлению**, включающему в себя науку или комплекс наук, в области которых ведутся исследования.

Существует множество направлений исследования: техническое, математическое, биологическое, историческое и др. Строительные науки относятся к техническому направлению исследований, но и среди них есть отрасли, которые могут быть отнесены к физико-математическому направлению, например, строительная механика, теория упругости и пластичности.

Структурными единицами научного направления являются комплексные проблемы, темы и научные вопросы (рис. 2.2).

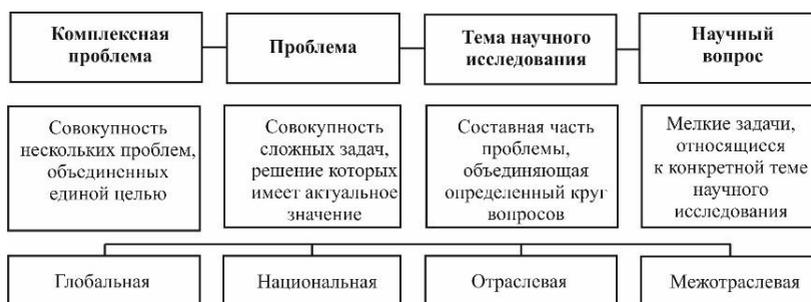


Рис. 2.2. Структурные единицы научного направления

Комплексная проблема представляет собой совокупность некоторых проблем, объединенных одной целью:

- **проблема** – это совокупность сложных теоретических и практических задач, решение которых актуально для общества;
- **тема научного исследования** – это составная часть проблемы, относящаяся к определенному кругу научных вопросов;
- **научный вопрос** – это мелкие научные задачи, относящиеся к конкретной теме научного исследования.

Когда в практической деятельности затруднительна реализация определенных целей тогда и возникает проблема. В зависимости от масштаба целей она может быть глобальной, национальной, отраслевой, межотраслевой и т.п. Например, проблема охраны природы является глобальной, поскольку она направлена на удо-

влетворение потребностей всего человечества. Проблема обеспечения населения нашей страны благоустроенным жильем является национальной, поскольку она характерна для России.

Проблема научного и технического обеспечения строительных работ по устройству кровель зданий и сооружений является отраслевой.

В зависимости от изменения экономических условий в стране проблемы отраслевого масштаба могут перерасти в государственные.

Различают также проблемы общие и специфические. К *общим проблемам* относят такие, которые направлены на удовлетворение потребностей всего человеческого сообщества в масштабе нашей планеты, отдельной страны, региона. К *специфическим проблемам* относятся те, которые характерны для определенных производств в различных отраслях народного хозяйства.

2.2 Этапы научно-исследовательской работы

Выбор проблемы, направления, темы научного исследования и постановка научных вопросов – очень важная задача. Как правило, самые актуальные направления научных исследований формулируются в государственных директивных документах и в документах отраслевых министерств, ведомств.

Приступая к постановке научно-технической проблемы в какой-либо определенной области знаний или отрасли народного хозяйства, необходимо провести глубокий анализ задач, обусловленных потребностями общества и социальными запросами.

Основные народнохозяйственные проблемы представляются в виде различных целевых и комплексных программ общегосударственного или регионального значения.

Любая научно-техническая проблема начинается с раскрытия основной концепции народнохозяйственной проблемы. Затем необходимо проанализировать общие вопросы в данном научном направлении, а также состояние вопроса, касающегося конкретной задачи в сфере научной деятельности ученого. От исследователя требуется изучение предшествующего опыта и приобретение соответствующих знаний в смежных областях науки и техники.

Вначале при определении проблемы и темы научного исследования на основе противоречий исследуемого направления формулируется сама проблема, и определяются в общих чертах ожидаемые результаты, а затем разрабатывается её структура, выделяются вопросы, устанавливается их актуальность, и определяются основные исполнители.

На этапе планирования из-за недостаточной информированности научных работников иногда выбираются ложные или мнимые проблемы. Это приводит к напрасным затратам средств и труда ученых. В уже сложившихся научных коллективах, имеющих определенные научные традиции и разрабатывающих комплексные проблемы, методика выбора тем существенно упрощается. При коллективном планировании научных исследований большую роль приобретают дискуссии, обсуждение проблем и тем, их критика. Чтобы проанализировать научную и техническую информацию в рассматриваемой области знаний, нужно провести краткий литературный обзор по данной проблеме. Это необходимо, чтобы вскрыть проблемную ситуацию и выявить наличие противоречий между социальной потребностью и необходимостью решения выдвигаемых задач, а также показать их научную актуальность и методологическую ценность в познании причинных и функциональных связей между явлениями и процессами объекта исследования.

Такой анализ позволяет сформулировать рабочую гипотезу, наметить методы решения проблемы, выделить задачи и основные

этапы исследования. Таким образом, этот этап должен завершаться формулированием цели, определением объекта исследования, оценкой научной новизны и практической ценности результатов решения научно-технической проблемы, возможности и эффективности их внедрения в практику. Изучение и обоснование физической сущности объекта или явления, создание абстрактной математической модели, описывающей их поведение в определенных условиях, предсказание и анализ предварительных результатов являются *целью теоретических исследований*.

При необходимости проведения экспериментальных исследований формулируются их задачи, выбирается методика, приборы и средства измерения, а также составляется программа эксперимента в виде рабочего плана, в котором указываются объем работ, методы, техника, трудоемкость и сроки выполнения. Методические решения, полученные в результате экспериментальных исследований, формулируются в виде методических указаний для проведения эксперимента. Общий анализ полученных результатов, сопоставление их с выдвинутой гипотезой производится после завершения теоретических и экспериментальных исследований. Если между исследованиями имеются существенные расхождения, то уточняются теоретические модели, а при необходимости проводятся дополнительные эксперименты. Затем формулируются практические и научные выводы.

Процесс выполнения научно-исследовательской работы включает в себя шесть этапов.

1. Формулирование темы. На этом этапе предполагается общее знакомство с научной темой или проблемой, по которой предстоит выполнить работу и предварительное ознакомление с литературой, после чего формулируется тема исследования. Затем составляется план, разрабатывается техническое задание и определяется ожидаемый экономический эффект.

2. Формулирование цели и задач исследований. Этот этап включает подбор литературы и составление библиографических списков, проведение патентных исследований по теме НИР, составление аннотации источников и анализ обработанной информации. В заключении ставится цель и задача исследования.

3. Теоретические исследования. При выполнении этого этапа предполагается изучение физической сущности явления, формирование гипотез, выбор и обоснование физической модели. Затем производится математизация и анализ модели и полученных решений.

4. Экспериментальные исследования. После разработки цели и задачи экспериментального исследования производится планирование эксперимента, разрабатываются методики его проведения и выбор средств измерения. Заканчиваются экспериментальные исследования проведением серии экспериментов и обработкой полученных результатов.

5. Анализ и оформление научных исследований. На этом этапе производится сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными и анализ расхождений. Затем уточняются теоретические модели и проводятся дополнительные эксперименты, на основе которых становится возможным превращение гипотез в теорию. Научные работы на данном этапе завершаются формулированием научных выводов и составлением научно-технического отчета.

6. Внедрение результатов исследования в производство, определение экономического эффекта. Каждое теоретическое исследование требует больших затрат умственного труда, поэтому здесь могут быть и неудачи. Экспериментальная часть является наиболее трудоемкой и материалоемкой, особенно когда возникает необходимость в повторных исследованиях.

Этапы научно-исследовательской работы предполагают:

- 1) формулирование темы, цели, задач исследования;
- 2) изучение литературы, проведение исследований (при необходимости) и подготовка к техническому проектированию;
- 3) техническое проектирование с разработкой различных вариантов;
- 4) разработку и технико-экономическое обоснование проекта;
- 5) рабочее проектирование;
- 6) изготовление опытного образца и его производственные испытания;
- 7) доработку опытного образца;
- 8) государственные испытания.

2.3 Актуальность и научная новизна исследования

Научная работа должна быть актуальна как в научном, так и в прикладном аспектах. Одним из основных критериев при экспертизе является *актуальность темы* научного исследования. Актуальность означает, что поставленные задачи требуют скорейшего решения для практики или соответствующей отрасли науки. Кроме этого, актуальность темы научной работы указывает на актуальность объекта и предмета исследования. Прежде всего, актуализация темы предполагает ее увязку с важными научными и прикладными задачами. Необходимо коротко обозначить задачи, которые стоят перед теорией и практикой научной дисциплины в аспекте выбранной темы исследования и конкретных условий.

Актуальность в научном аспекте обосновывается следующими факторами:

- задачи фундаментальных исследований требуют разработки данной темы для объяснения новых фактов;

– возможны и остро необходимы в современных условиях уточнение развития и разрешение проблемы научного исследования;

– теоретические положения научного исследования позволяют устранить существующие разногласия в понимании процесса или явления;

– гипотезы и закономерности, выдвинутые в научной работе, позволяют обобщить известные ранее и полученные соискателем эмпирические данные.

В прикладном аспекте актуальность определяется следующими факторами:

– задачи прикладных исследований требуют разработки вопросов по данной теме;

– существует необходимость решения задач научного исследования для нужд общества и производства;

– научная работа по данной теме существенно повышает качество разработок творческих научных коллективов в определенной отрасли знаний;

– новые знания, полученные в результате научного исследования, способствуют повышению квалификации кадров или могут войти в учебные программы обучения студентов.

Одним из главных требований к теме научной работы является *ее научная новизна*. Работа должна содержать решение научной задачи или новые разработки, которые расширяют существующие границы знания в данной отрасли науки.

Новизна научной работы может быть связана как со старыми идеями, что выражается в их углублении, дополнительной аргументации, показе возможного использования в новых условиях, в других областях знания и на практике, так и с новыми идеями, выдвигаемыми лично исследователем. Для выявления элементов научной новизны необходимо наличие следующих условий.

– Тщательное изучение литературы по предмету исследования с анализом его исторического развития. Весьма распространенная ошибка исследователей заключается в том, что за новое выдается уже известное, но не оказавшееся в их поле зрения.

– Рассмотрение всех существующих точек зрения.

Критический анализ и сопоставление их в свете задач научного исследования часто приводит к новым или компромиссным решениям:

– вовлечение в научный оборот нового фактического и цифрового материала, например, в результате проведения удачного эксперимента, а это уже заявка на оригинальность;

– детализация уже известного процесса или явления.

В научной работе могут быть приведены следующие элементы новизны: новая сущность задачи, т.е. такая задача, поставлена впервые; новая постановка известных проблем или задач; новый метод решения; новое применение известного метода или решения; новые результаты и следствия.

Новые научные результаты могут быть получены в следующих случаях.

1. Когда исследуется совершенно новая, ранее не изученная предметная область.

2. Когда уже к исследованной предметной области были применены новые технологии, средства или методы познания. Примерами могут служить: применение нового исследовательского подхода в какой-либо предметной области; применение какой-либо теории из другой области научного знания; применение математического аппарата, который ранее не применялся в исследованиях; применение новых приборов и т.д.

3. Когда одновременно исследуется новая предметная область с использованием новейших технологий.

2.4 Выдвижение рабочей гипотезы

При формулировании рабочей гипотезы необходимо тщательно изучить отечественные и зарубежные литературные источники, а также производственные отчеты о проведенных аналогичных исследованиях.

Вся полученная информация должна быть проанализирована с целью выяснения, что уже достигнуто и разработано, какие еще остались недоработки, неясности и противоречия. В результате выявляются методические ошибки и просчеты предшествующих исследователей и намеченные ими перспективы улучшения и совершенствования существующей теории. Рабочая гипотеза выдвигается при условии обобщения всех имеющихся материалов, относящихся к объекту исследования, его физической сущности. К числу основных факторов, воздействующих на объект исследования, которые устанавливаются в рабочей гипотезе, относятся причины, условия и движущие силы, вызывающие в нем изменения. На начальной стадии разработки рабочей гипотезы рекомендуется составить наиболее полный перечень таких факторов, их граничных значений и степени влияния на объект. Именно на основании этого делается предположительное объяснение всего процесса развития явления. Затем в принятой рабочей гипотезе следует выделить решающие и важные причинно-следственные связи и взаимодействия, наметить ожидаемые направления и ход развития исследуемого объекта. Рабочая гипотеза должна быть логически простой и во всех деталях проверяема экспериментально. Формулировки её должны быть ясными, краткими и содержать строгие, общепринятые в данной отрасли науки понятия и термины.

Тезисы (от греч. *tezos* – утверждение) являются наиболее совершенной формой творчески переработанных выписок. Это сжатое изложение содержания изученного материала в утвердитель-

ной, иногда и в опровергающей форме. Тезисы в зависимости от своего предназначения могут быть основными, простыми или сложными.

Основные тезисы – близкая к дословной запись принципиально важных положений оригинального текста с небольшим добавлением обобщений, представляющих собой основу для итоговых выводов.

Простые тезисы – это дословный перечень главных мыслей автора как для каждой из частей оригинального текста, так и для всего текста в целом. Сравнительная краткость и прямота изложения отличительный признак этих тезисов. Их основное предназначение – облегчить понимание сути оригинального текста.

Сложные или развернутые тезисы – это одновременно компактный, но достаточно совершенный по своему содержанию материал, который в совокупности с планом и другими выписками может послужить первоосновой для записи чернового варианта основного текста письменной работы.

Конспект (от лат. conspectus обзор, описание) весьма сложная запись содержания исходного текста, включающая в себя цитаты наиболее примечательных мест в сочетании с планом источника, а также сжатый анализ записанного материала и выводы по нему.

Резюме – краткая оценка изученного содержания исходного источника информации, полученная, прежде всего, на основе содержащихся в нем выводов.

Аннотация – краткое изложение основного содержания исходного источника информации, дающее о нем обобщенное представление.

Составление уточненного списка исходных источников информации. В большинстве случаев после просмотра произведенных записей у исполнителя возникает необходимость внесения в первоначальный вариант списка исходных источников информа-

ции уточнений. В конечном счете, эти уточнения сводятся к корректировке содержания списка – исключению из него одних источников и внесению в него других, которые по каким-либо причинам не были привлечены в качестве исходных.

Поиск научной информации по УДК. Для успешного проведения поиска научной информации ее необходимо классифицировать. Наибольшее распространение в последнее время получила Универсальная Десятичная Классификация (УДК).

УДК позволяет охватывать все отрасли знания, и производить неограниченное деление на подклассы. УДК состоит из основной и вспомогательных таблиц. Основная таблица содержит понятия и соответствующие им индексы, с помощью которых систематизируют человеческие знания.

Первый ряд основной таблицы УДК имеет следующие классы:

0 – Общий отдел. Наука. Организация. Умственная деятельность. Знаки и символы. Документы и публикации;

1 – Философия;

2 – Религия;

3 – Экономика. Труд. Право;

4 – свободен с 1961г.;

5 – Математика. Естественные науки;

6 – Прикладные науки. Медицина. Техника;

7 – Искусство. Прикладное искусство. Фотография. Музыка;

8 – Языкознание. Филология. Художественная литература.

Литературоведение;

9 – Краеведение. География. Биография. История.

Каждый из классов разделен на десять более мелких подразделов и т.д. Для лучшей наглядности и удобства чтения всего индекса после каждых трех цифр, начиная слева, ставится точка (при чтении она не произносится, а отражается паузой).

УДК имеет ряд значительных преимуществ: удобство шифрования, относительная быстрота поиска информации и т.д. Для ускорения отбора необходимой документации из общего объема и повышения эффективности труда научных работников существует общегосударственная служба научно-технической информации (НТИ).

Поиск научной информации, или **информационный поиск** – это совокупность операций, направленных на отыскание документов, необходимых для разработки темы. Поиск может быть механическим, ручным, автоматизированным и механизированным.

Проработка научно-технической информации требует творческого подхода, сосредоточенности и внимания. Системность и настойчивость являются важными факторами. Важно правильно записать проработанный текст, потому что запись прочитанного материала является неотъемлемым требованием. Научный работник, завершив анализ НТИ по выбранной теме исследования, должен поставить цель, которой необходимо достичь в результате выполнения работы, и задачи, которые необходимо решить, чтобы достигнуть этой цели. Она формулируется в теме научно-исследовательской работы.

2.5 Обработка научной информации, ее фиксация и хранение. Электронные формы информационных ресурсов

В России в настоящее время накоплены огромные запасы информации, сосредоточенной в разнообразных базах и банках данных, CD и DVD и на других носителях информации.

Наука **информатика** занимается разработкой методологии создания наиболее эффективных информационных систем. Основы для проектирования и автоматизации научных исследований составляют методы информатики. Любая новая научно-техническая

информация об оригинальных идеях, фактах, научных результатах и т.д. является одним из важнейших компонентов **системы информационного обеспечения**. На первый план при разработке таких систем выступает проблема «адресности», которая заключается в своевременной доставке информации тем пользователям, для которых она представляет непосредственный интерес. Из систем информационного обеспечения стала оформляться в самостоятельную систему **система научной коммуникации**, которая отвечает за хранение и распространение научных знаний.

Информационным продуктом является совокупность унифицированных сведений и услуг, представляемых в стандартизированном виде.

Примерами таких продуктов для работников строительной отрасли народного хозяйства могут служить СНИПы (Строительные нормы и правила) и ГОСТы (Государственные стандарты). Это специализированные издания, в них изложены нормативные требования по проектированию зданий и сооружений, правила производства строительных материалов, изделий и конструкций и выполнения различных строительных работ.

Базы данных. По мере развития и внедрения вычислительной техники и средств хранения информации появилась возможность накопления и хранения больших информационных массивов баз данных. Они подразделяются на фактографические и библиографические.

Фактографические базы данных содержат сведения фактического характера и представляют собой конечный продукт для пользователя.

Библиографические базы данных содержат вторичную информацию, то есть сведения о публикациях.

Понятие «банк данных» тесно связано с понятием «база данных».

Банк данных – это разновидность информационной системы для накопления больших объемов относительно однородных, взаимосвязанных и изменчивых данных, для их оперативного управления и многоцелевого использования. В его состав входят базы данных и комплекс средств их создания и использования, в том числе программная система управления базами данных, языки, вычислительное оборудование, различные процедуры и методики.

Каждый тип информационного продукта требует специфической технологии его получения и сопровождается созданием пакетов прикладных программ (ППП).

Информационные сети. Современное развитие вычислительной техники и средств связи позволяет все больше объединять данные в единую информационную инфраструктуру, основу которой составляют информационные сети. Именно через них потребитель получает широкие возможности доступа к банкам данных, присоединенных к сети.

Потребителей информации можно разделить на четыре категории:

- потребители, связанные с проектированием и созданием новой техники;
- потребители, связанные с принятием управленческих решений по созданию новой техники;
- потребители, связанные с проведением научных исследований;
- потребители, связанные с решением планово-управленческих задач.

Такое разделение потребителей позволяет более четко сформулировать требования к конкретным информационным системам и повысить эффективность информационного обеспечения.

При первом знакомстве с научной книгой много полезных сведений могут дать её выпускные данные.

В *прикнижной аннотации* приводятся краткие сведения о содержании и читательском назначении, показывается научное и практическое значение издания, раскрывается основная идея. Из аннотации можно узнать основную тему, задачи, метод, которым пользовался автор, принадлежность к определенной научной школе.

Предисловие к научной книге может быть представлено в различных вариантах. В предисловии чаще всего объясняются мотивы написания книги, особенности ее содержания и построения, степень полноты освещения тех или иных проблем.

Вступительная статья. В ней дается оценка работы, характеризуется мировоззрение ученого, система его научных и общественных взглядов, перечисляются наиболее крупные труды и т.п.

Введение является вступительным разделом к основному тексту, поэтому при знакомстве с научной книгой его нужно читать особенно внимательно. Умение пользоваться техникой быстрого чтения существенно снижает трудоемкость работы с научной литературой. Умение быстро читать – одно из важных условий усвоения гораздо большего объема материала. При чтении и составлении резюме не нужно стремиться только к заимствованию материала. Следует обдумывать найденную информацию в продолжение всей работы над темой, тогда собственные мысли, возникшие в ходе знакомства с чужими работами, послужат основой для получения нового знания. Информация при изучении литературы по выбранной теме используется только та, которая имеет непосредственное отношение к теме диссертации и является потому наиболее ценной и полезной.

При разработке обширной проблемы нужно уметь делить ее на части, каждую из которых продумывать в деталях. Работая над каким-либо частным вопросом или разделом, не надо забывать о его связи с проблемой в целом.

Отбор и оценка фактического материала. Научное творчество предполагает значительную часть черновой работы, связанной с подбором основной и дополнительной информации, ее обобщением и представлением в форме, удобной для анализа и выводов. Поэтому важно научиться отбирать не любые факты, а только научные.

Понятие «научный факт» значительно шире и многограннее, чем понятие «факт», применяемое в обыденной жизни.

Научные факты характеризуются особыми свойствами – новизной, объективностью, точностью и достоверностью. Новизна научного факта говорит о принципиально новом, не известном до сих пор предмете, явлении или процессе. Это не обязательно должно быть научное открытие, но это новое знание о том, чего мы до сих пор не знали.

Работа по накоплению научных фактов по избранной теме всегда многоаспектна. Здесь и глубокое изучение опубликованных материалов, ознакомление с архивами и ведомственными данными, получение различных консультаций, анализ и обобщение собственных научных результатов. Накопление такой предварительной информации – творческий процесс, требующий целеустремленной энергии, настойчивости и творческой страсти. Ученый похож на строителя сложного и оригинального сооружения. Он собирает нужные строительные материалы, все складывает в строгом и определенном порядке. Всю собранную первичную научную информацию следует регистрировать.

Формы регистрации могут быть разными:

– оформление новой информации на специальных бланках, анкетах, статистических карточках, образующих в результате тематическую картотеку;

- записи различного характера, в том числе наблюдения, записанные в лабораторных журналах, выписки из протоколов заседаний кафедры и т.п.;

- графики, рисунки, схемы и другие графические материалы;

- фиксация научной информации методами фотографии;

- научные отчеты;

- расчеты, выполненные с помощью компьютерных программ;

- выписки из анализируемых литературных источников, документов (авторефераты, диссертации, статьи, книги и др.).

Рекомендуется делать записи ценных мыслей, пришедших как будто неожиданно, не откладывая. На начальной стадии организации научного исследования представляется необходимым выбрать наиболее приемлемую систему хранения первичной документации. Это поможет облегчить пользование собранными материалами и сберечь в дальнейшем много времени. Одновременно с регистрацией собранного материала следует вести его группировку, сопоставлять, сравнивать полученные цифровые данные и т.п. При этом особую роль играет классификация, без которой невозможно научное построение или вывод.

Классификация дает возможность наиболее коротким и правильным путем войти в круг рассматриваемых вопросов. Она облегчает поиск и помогает установить ранее не замеченные связи и зависимости. Проводить классификацию нужно в течение всего процесса изучения материала. Она является одной из центральных и существенных частей общей методологии любого научного исследования.

Процесс сбора, фиксации, хранения и классификации первичной научной информации желательно завершить написанием целостного обзорного текста, обобщающего и систематизирующего информацию.

2.6 Наука на современном этапе

Конец XX и начало XXI веков отличаются от предыдущих усилением процесса дифференциации наук и противоположного ему процесса – их интеграции, углублённого изучения микро и макромира, биологической структуры человека и его психологии, применением космических средств исследования вселенной для уточнения картины мироздания и др. Рассмотрим некоторые из этих особенностей.

Не следует понимать положение об обусловленности развития науки потребностями практики, что будто бы каждая исследуемая наукой проблема прямо и непосредственно связана с определённой экономической потребностью.

В действительности дело обстоит не совсем так: если бы наука ограничивала круг своих исследований только той проблематикой, которая может лишь в данное время принести пользу практике, она очень быстро исчерпала бы свои потенции и оказалась бы бессильной перед лицом новых потребностей практики, бессильной предвидеть будущее.

Чтобы всегда быть в состоянии решать не только те вопросы, которые актуальны сегодня, но и подготавливать решение задач, которые станут актуальными завтра, наука ведёт исследования, охватывая по возможности все стороны объективной действительности. Уже в силу этого она всегда выходит за рамки непосредственного практицизма и, ломая всякий консерватизм, подготавливает глубочайшие изменения всей практике в будущем.

Зародившись в древнем мире в связи с потребностями общественной практики, наука в ходе исторического развития превратилась в производительную силу и важнейший социальный институт, оказывающий значительное влияние на все сферы общества.

Успехи физики, особенно атомной и ядерной, а также квантовой механики оказали большое влияние на развитие химии, дав возможность глубже изучить природу химической связи и строения молекул, механизма и кинетики химических реакций, а также продвинуться вперед в выяснении зависимости между строением молекул и свойствами вещества. Современная химия успешно решает задачу синтеза важнейших физиологически активных веществ, создания новых ценных материалов с заранее заданными свойствами (синтетический каучук, волокна, пластмассы и т.п.), без которых невозможен дальнейший прогресс техники.

Единство этих процессов ярко проявляется в привлечении к решению сложных проблем различных отраслей науки, а также в возникновении пограничных областей знания (физическая химия, биохимия, биофизика, геохимия и т. п.).

Новые отрасли науки представляют иногда сложный синтез нескольких отраслей знания (кибернетика, учение о полимерах, биофизика и др.).

Проникновение физики, химии и др. наук в геологические и физико-географические науки сделало возможной постановку задачи познания закономерностей распределения вещества и протекания процессов в масштабах земного шара.

В связи с открытием генов наступил качественно новый этап в развитии биологии, что, в свою очередь, позволило проникнуть в историю переселения народов.

Далее рассмотрим перечень некоторых наук о Вселенной.

Наука о Микромире и наука о Вселенной

Все тела состоят из атомов, строение которых напоминает структуру солнечной системы. Ядро атома находится в центре атома и состоит из элементарных частиц протонов и нейтронов. Вокруг ядра движутся электроны. В свою очередь, элементарные

частицы состоят из кварков, лептонов и др. Кварки отличаются спинами – направлением вектора вращения. В упрощенном виде кварки можно представить в виде локализованных вихревых следов какой-то непрерывной материи, которая «заполняет» вакуум. Процесс аннигиляции вещества (самоуничтожения частиц и античастиц) – представляет собой процесс слияния вихрей с противоположными спинами.

Особенно поражает воображение тот факт, что как в таких мизерных по размеру частицах, как ядра атомов, содержится энергия, способная уничтожить всё человечество.

В связи с космическими исследованиями вселенной получила развитие и экспериментальное подтверждение теория так называемых «чёрных дыр» – объектов сверхвысокой плотности, из гравитационного поля которых не может «вырваться» никакие частицы и излучение.

Чёрные дыры

«Чёрная дыра» имеет массу, электрический заряд и кинетический момент вращательного движения, которые можно наблюдать из вне этого объекта.

Обнаруживают «чёрные дыры» по изменению параметров движения какой-либо звезды (пульсара) в гравитационном поле «чёрной дыры». Иногда такие звёзды сливаются с чёрными дырами и тогда появляются так называемые гравитационные волны, существование которых подтверждено экспериментально.

Тёмная материя

В последние десятилетия возрос интерес к так называемой «тёмной материи», которую не следует путать с «чёрной дырой».

Тёмная материя – гипотетическая форма материи, основная особенность которой заключается в том, что она участвует

в гравитационном взаимодействии и не участвует в электромагнитном (не имеет электрического заряда и не взаимодействует с ним). То есть, её нельзя наблюдать непосредственно.

Существование темной материи было постулировано в 1930-е годы шведским астрономом Фрицем Цвикки для объяснения «недостатка» во Вселенной массы видимых галактик, которой «не хватало» для того, чтобы небесные тела вели себя так, как наблюдают астрономы.

Для экспериментального подтверждения существования «тёмной материи» международное сообщество учёных создало в Швейцарии Большой адронный коллайдер (Large Hadron Collider) – ускоритель заряженных частиц на встречных пучках, предназначенный, в том числе, и для экспериментального подтверждения гипотезы о существовании тёмной материи.

Подтверждение существования тёмной материи проведено с помощью астрономических наблюдений. Например, астрономические наблюдения за звёздной системой JVAS в 1938 – 1966 показали, что эта система отклоняет пути прохождения света не так, как предсказывает теория. Соответственно, ученые сделали вывод о существовании у системы спутника из темной материи.

Тёмная энергия

Тёмная энергия в космологии – гипотетический вид энергии, введённый ради объяснения наблюдаемого её расширения с ускорением.

Существуют варианты объяснения сущности тёмной энергии:

– это энергетическая плотность, равномерно заполняющая пространство Вселенной (постулируется ненулевая энергия и давление вакуума);

– это модифицированная гравитация на расстояниях порядка размера видимой части Вселенной.

Выбор между вариантами требует очень длительных и высокоточных измерений скорости расширения Вселенной.

Согласно опубликованным в марте 2013 года данным наблюдений космической обсерватории «Планк», общая масса-энергия наблюдаемой Вселенной на 95,1% состоит из тёмной энергии (68,3%) и тёмной материи (26,8%).

Гравитационное замедление времени и искривление пространства

В общей теории относительности А. Эйнштейна сила притяжения на исследуемый предмет рассматривается как следствие деформации пространства-времени под воздействием на нее массы тела. То есть, пространство и время рассматривается как единое целое.

Время течет тем медленнее, чем больше абсолютная величина гравитационного потенциала. Этот эффект был подтверждён прямыми экспериментами. Гравитация массивных объектов вроде галактик заметно отклоняет пути света, идущего от более удаленных объектов, и параметры этого отклонения зависят от массы отклоняющей «линзы» (линзы Эйнштейна).

Кротовые норы

В связи с искривлением пространства появилось понятие «Кротовая нора» – гипотетическая топологическая особенность пространства-времени, представляющая собой в каждый момент времени «туннель» в пространстве.

В настоящее время меняются представления о происхождении вселенной. Ранее считали, что вселенная произошла в результате так называемого большого взрыва, произошедшего несколько миллиардов лет назад. Расширение вселенной доказано с помощью оптических приборов, использующих доплеровский эффект.

Сейчас имеются гипотезы, согласно которым большой взрыв – это лишь часть эволюции вселенной, за которым периодически наступает этап слияния объектов (звёзд, галактик, планет и др.) в «чёрные дыры». «Чёрные дыры», как теперь представляется, после «накопления» определённой массы могут «взрываться» путём выхода энергии по направлению вектора вращения «чёрной дыры».

2.7 Соотношение науки и математики

Во-первых, заметим, что математика является самостоятельной наукой, которая постоянно развивается и заслуживает отдельного рассмотрения.

Во-вторых, математика во многих науках, а тем более в технических, является инструментом, без которого просто немыслимо развитие как фундаментальных, так и прикладных наук.

Сначала приведём афоризм, принадлежащий известному немецкому учёному-математику К. Гауссу (1777-1855): «Математика – царица наук...». Если же перейти к определениям, то существуют различные определения математики. Приведём лишь некоторые из них.

Одно из первых определений предмета математики дал Р. Декарт (1596 – 1650), известный французский математик, механик, физик создатель аналитической геометрии и современной алгебраической символики: «К области математики относятся только те науки, в которых рассматривается либо порядок, либо мера, и совершенно не существенно, будут ли это числа, фигуры, звёзды, звуки или что-нибудь другое, в чём отыскивается эта мера».

В Большой Советской Энциклопедии приводится определение математики, данное одним из крупнейших математиков XX века А. Н. Колмогоровым (1903 – 1987), основоположником современной теории вероятностей, получившим фундаментальные резуль-

таты во многих областях математики, физики, механики жидкости и газа, информатики и др.: «Математика... наука о количественных отношениях и пространственных формах действительного мира». Далее Колмогоров поясняет, что все использованные термины надо понимать в самом расширенном и абстрактном смысле.

В Википедии даётся следующее определение. «Матемáтика (др. греч. $\mu\acute{\alpha}\theta\eta\mu\acute{\alpha}\tau\iota\kappa\acute{\alpha}$ [1] < др. греч. $\mu\acute{\alpha}\theta\eta\mu\alpha$ – изучение, наука) – наука о структурах, порядке и отношениях, исторически сложившаяся на основе операций подсчёта, измерения и описания формы объектов. Математические объекты создаются путём идеализации свойств реальных или других математических объектов и записи этих свойств на формальном языке».

Интересно мнение немецкого математика и физика-теоретика, Г. Вейля (1885 – 1955), который в 1927 году стал лауреатом премии Н. Лобачевского – великого русского математика, создателя Геометрии Лобачевского. Герман Вейль пессимистически оценил возможность дать общепринятое определение предмета математики: «Математизирование» может остаться одним из проявлений творческой деятельности человека, подобно музицированию или литературному творчеству, ярким и самобытным, но прогнозирование его исторических судеб не поддаётся рационализации и не может быть объективным».

Отметим, что результаты исследований в области математики не всегда или не сразу могут приводить к практическому их применению. В этом отношении показателен пример с Булевой алгеброй, которая названа в честь Дж. Буля (1815 – 1864) – английского математик, одного из основателей математической логики.

Булева алгебра в течение многих лет не находила практического применения. В конце XIX века её стали активно использовать физики при описании электрических переключателей и схем. В XX веке учёные воспользовались Булевой алгеброй для создания

цифровых электронно-вычислительных машин (компьютеров). Сейчас Булева алгебра широко используется при программировании.

Ещё одним примером непризнания в период жизни учёного является геометрия (гиперболическая геометрия) Н. Лобачевского (1792 – 1856) – одна из неевклидовых геометрий, основанная на тех же основных посылах, что и обычная евклидова геометрия, за исключением аксиомы о параллельных прямых, которая заменяется её отрицанием.

Научные идеи Лобачевского не были приняты современниками. Его труд «О началах геометрии», представленный в 1832 году советом университета в Академию наук, получил отрицательную оценку у М. В. Остроградского (1801 – 1861) – академика Санкт-Петербургской академии наук, признанного лидера математиков Российской империи в 30-е годы XIX века.

Несмотря на это, Лобачевский продолжал работу и стал печататься за рубежом. Эти труды прочитал К. Гаусс, признанный математик той поры, восторженно отозвался о них и рекомендовал избрать Лобачевского иностранным членом-корреспондентом Гёттингенского королевского научного общества как «одного из превосходнейших математиков русского государства». Избрание Лобачевского состоялось в 1842 году и стало единственным прижизненным признанием научных заслуг Лобачевского.

Однако положения Лобачевского в России оно не укрепило. Он умер непризнанным, не дожив до торжества своих идей всего 10 – 12 лет. В дальнейшем, геометрия Лобачевского оказала решающее влияние, в частности, на появление римановой геометрии, общей теории аксиоматических систем и др.

Математика не относится к естественным наукам, но широко используется в них как для точной формулировки их содержания, так и для получения новых результатов.

Приведём афоризм, который принадлежит известному немецкому философу Иммануилу Канту (1724 – 1804), который изложен в его труде «Метафизические основы естествознания»: «В любой науке столько истины, сколько в ней математики».

Знаменитый академик Петербургской АН (впоследствии АН СССР) А. Н. Крылов (1863 – 1945) – автор классических работ по теории колебания корабля, по строительной механике корабля, теории вибрации судов и их непотопляемости, по теории гироскопов, внешней баллистике, математическому анализу и механике в приложении к кораблестроению, по истории физико-математических и технических наук и пр. писал: «Инженер должен по своей специальности уметь владеть своим инструментом, но он вовсе не должен уметь его делать; плотник не должен уметь выковать или направить топор, но должен уметь отличить хороший топор от плохого; слесарь не должен уметь сам наскать напильник, но должен выбрать тот напильник, который ему надо. Так вот, геометра, который создаст новые математические выводы, можно уподобить некоему воображаемому универсальному инструментальщику, который готовит на склад инструмент на всякую потребу; он делает всё, начиная от кувалды и кончая тончайшим микроскопом и точнейшим хронометром. Геометр создает методы решения вопросов, не только возникающих вследствие современных надобностей, но и для будущих, которые возникнут, может быть, завтра, может быть, через тысячу лет».

Таким образом, математика – фундаментальная наука, предоставляющая (общие) языковые средства другим наукам; тем самым она выявляет их структурную взаимосвязь и способствует нахождению самых общих законов природы.

2.8 Достоверность результатов и адекватность математических моделей

Общеизвестный факт заключается в следующем: чем меньше экспериментальных данных, тем большее количество математических моделей можно построить. Утрированно можно сказать, что на один физический эксперимент можно построить бесконечное число моделей. В этой связи важным является вопрос об адекватности моделей и достоверности результатов, полученных с помощью разработанных моделей.

Достоверность результатов, полученных с использованием разработанных моделей, алгоритмов и программного обеспечения, в полной мере может быть обеспечена лишь в процессе длительного их совершенствования и применения указанных продуктов в практике проектирования космических систем и аппаратов.

На начальных стадиях использования разработанных продуктов достоверность результатов расчета подтверждается с помощью:

- сравнения результатов расчета по разработанным программным продуктам с результатами расчета, полученными из натуральных экспериментов;
- сравнения результатов расчета по разработанным программным продуктам с результатами расчета, полученными другими методами (например, с аналитическим решением для частных случаев);
- использования проверенных (классических) формул, фундаментальных законов;
- подтверждения адекватности (соответствия действительности) используемых математических моделей, алгоритмов, программного обеспечения и отдельных результатов расчета;

- проведения испытаний (тестирования) программных продуктов для различных исходных данных и сравнения этих результатов с имеющимися данными, в том числе и данными, опубликованными в научной литературе.

В качестве показателей адекватности обычно используют следующие:

- границы области использования параметров модели, алгоритмов и программного продукта;

- точность (ошибки) моделирования как частных задач, так и всех моделей в комплексе;

- чувствительность выходных результатов, полученных с помощью разработанных моделей, к изменению тех или иных параметров (если результаты мало изменяются при изменении параметра на максимально возможную величину, то такие параметры следует исключить из основных проектных параметров).

Существуют и другие количественные показатели адекватности, связанные с более высшими моментами случайных величин, которые определяются на основе дисперсионного, регрессионного анализа и др.

Кроме того, адекватность может проверяться с помощью качественных показателей, таких как:

- непротиворечивость физическому смыслу изменения результатов при варьировании отдельных параметров (например, при уменьшении моментов инерции КА должны возрасти динамические характеристики);

- предсказуемость поведения в особых точках проектных переменных (например, отсутствие возможности съемки, если плоскость орбиты перпендикулярна направлению на Солнце) с возможностью проверки результатов расчета именно в таких точках;

– устойчивость результатов, полученных с помощью программного продукта при многократных запусках с одинаковыми исходными данными;

– устойчивость работы программного продукта при длительном расчете (отсутствие сбоев, например, в течение многих суток).

Кроме того, визуализация некоторых процессов, которые рассчитываются с помощью разработанных программных продуктов, представляет еще одну уникальную возможность проверки адекватности моделей. Например, прорисовка трасс в динамике, зон захвата объекта съемки аппаратурой зондирования, зон захвата спутника станциями НППИ, визуализация наклона корпуса КА в процессе проведения съемки, визуализация затенения БС, прорисовка тени, солнечного «пятна» с последующим сопоставлением расчетных данных с видеоданными.

Применительно к этому случаю показателен научный конфликт великих английских учёных Р. Гука (1635 – 1703) и И. Ньютона (1642 – 1727).

В 1666 году Р. Гук, по большей части физик-экспериментатор, пришел к выводу, что движение планет есть суперпозиция падения на Солнце благодаря силе притяжения к Солнцу, и движения по инерции по касательной к траектории планеты. По его мнению, эта суперпозиция движения и обуславливает эллиптическую форму траектории планеты вокруг Солнца. Однако доказать это математически он не смог и послал в 1679 году И. Ньютону письмо, в котором предложил сотрудничество по решению этой задачи. В этом письме было также изложено предположение об убывании силы притяжения к Солнцу обратно пропорционально квадрату расстояния. И. Ньютон отлично владел математическими методами, но на тот период времени у него ещё не сложилась целостная картина физики движения планет.

В ответ Ньютон заметил, что ранее занимался проблемой движения планет, но оставил эти занятия (по некоторым данным в этой теории Солнце находилось в центре эллиптической орбиты, что противоречило первому закону Кеплера).

Впоследствии переписка между Гуком и Ньютоном прервалась. Гук вернулся к попыткам построения траектории планеты под действием силы, убывающей по закону обратных квадратов. Однако эти попытки также оказались безуспешными. Между тем, Ньютон вернулся к изучению движения планет и решил эту задачу.

Когда Ньютон готовил к публикации свой научный труд «Начала», Гук потребовал, чтобы Ньютон в предисловии оговорил приоритет Гука относительно закона тяготения. Ньютон возразил, что он и другие учёные пришли к той же формуле независимо и раньше Гука. Возник научный конфликт между великими учёными.

Современные авторы отдают должное и Ньютону, и Гуку. Приоритет Гука заключается в постановке физической задачи, однако сам Гук задачу не решил. Заслуга Ньютона состоит в математической постановке задачи и её решении.

Возможно также, что именно письмо Гука непосредственно подтолкнуло Ньютона завершить решение этой задачи. По-видимому, Ньютон доработал свои модели после переписки с Гуком и они стали адекватными.

2.9 Философские аспекты науки

Наука по самой сути своей призвана облегчать труд и жизнь людей, увеличивать власть общества над силами природы, указывать реальные пути улучшения обществ, порядков. Но наука может создать и проблемы.

Наука содержит не только формулировку законов, теорем и других объективных положений, но и теоретическое, философское их истолкование.

Естествознание не может развиваться, не применяя философских обобщений. Материалистическая философия, в отличие от идеалистической, учит, что человеческие знания не могут выражать объективную истину сразу, целиком, полностью. Они выражают её лишь приблизительно, относительно. Научные знания любой исторической эпохи суть ступеньки процесса познания абсолютной истины через сумму относительных истин. Они всегда дополняются, углубляются, и это предохраняет науку от окостенения, превращения в свод догматов; вместе с тем в каждый данный момент они настолько завершены, что способны успешно служить современной им практике.

О «подвижности» научных знаний говорит следующий пример. Вспомним старую проблему, которую обозначил английский учёный, Т. Р. Мальтус (1766 – 1834). Согласно его теории, неконтролируемый рост народонаселения должен привести к голоду на Земле. Спустя некоторое время (в историческом масштабе) эта теория была отодвинута на второй план, так как благодаря развитию науки и технологии в последующее время голод не грозил человечеству.

Однако, в настоящее время по данным ООН каждый седьмой человек в мире страдает от хронического голода и недоедания.

С учётом перспектив развития науки и, в частности, возможности производства пищи из «земли», голода, возможно, не будет.

Человек стремится познать мир, хочет познать новое, неизведанное. Существуют различные уровни познания по глубине и широте исследования. Представим себе мысленно место Человека над микромиром и его место во Вселенной.

Человек и микромир

Все тела состоят из атомов, строение которых напоминает структуру солнечной системы. Из атомов состоят молекулы, из молекул определённого рода состоят различные виды живых существ. К малым по размеру живым существам, например, можно отнести вирусы. Они обладают некоторым набором органов чувств, рефлексов, вирусы способны к размножению. В частности, вирусы могут «поселиться» в микробах. Микробы способны размножаться и организовывать колонии. Например, стакан простокваши представляет собой продукт жизнедеятельности до пяти миллиардов микроорганизмов. Микробы «живут» и внутри человека и не «видят» его.

Человек – часть природы, которая не до конца изучена. Что заставляет человека продолжать свой род – это ясно. Но зачем «Природе» нужно продолжение рода человека?

Земля и Вселенная

Теперь представим себе процесс наблюдения за макромиром. Земля и планеты движутся по орбите вокруг Солнца. Солнце является одним из элементов солнечной галактики и движется вокруг предполагаемого центра масс галактики. Солнечная галактика является одним из элементов метagalактики и движется вокруг предполагаемого центра масс метagalактики. И так до бесконечности. Движение осуществляется в гравитационном поле, которое со скоростью света распространяется в среде какой-то непрерывной материи, которую принято называть вакуумом.

Аналогия строения атомов и солнечной системы позволяет поставить вопрос: а не является ли Земля, планеты и Солнце «гигантским атомом» в «молекуле» галактики, а галактики и метagalактики – «генами» какой-либо организованной системы высшего уровня, в частности какого-либо гигантского существа? В гипер-

трофированной форме можно задать вопрос: не находимся ли мы в «слюне» какого-либо гигантского существа, который обладает гораздо большим количеством органов чувств, чем Человек? Например, это гигантское существо способно «видеть» рентгеновское излучение, «чёрные дыры», темную энергию и «тёмную материю»?

А что «знает» это предполагаемое гигантское существо о Человеке? А не приносит ли Человек вред этому гигантскому существу? И не является ли экспансия Человека во вселенную (скажем, полёты на планеты) некоей «раковой опухолью» для этого существа, с которой он борется недоступными для нашего понимания методами (например, астероидами, способными погубить человечество)?

«Вред» науки

Создание атомного и биологического оружия, нарушение экологического равновесия в природе, перенаселение планеты и др. могут привести к гибели человечества.

Проблема глобального потепления является предметом исследования учёных различных предметных областей. Физики дают подробную информацию, какие изменения могут произойти, где и почему. Другие специалисты исследуют, как экосистемы изменятся под влиянием изменений климата. Наконец третьи (экономисты, социологи) изучают возможности адаптации общества и экономики к таким изменениям.

Физики говорят однозначно – нет другой конкурирующей модели, которая могла бы на сегодняшний день вытеснить представление об антропогенном (обусловленных деятельностью человека) глобальном потеплении, связанном с выбросом углекислого газа и других парниковых газов, уменьшением площади лесов на планете, циклами солнечной активности и др.

Отметим ещё один возможный аспект вреда науки. В связи с тенденцией уменьшения смертности, вплоть до бессмертия (в связи с развитием генной инженерии) и сохранением материнского инстинкта в продолжение рода, количество людей на Земле будет увеличиваться. Причём, до такой степени, что тесно будет на Земле в прямом смысле этого слова.

3 ПРОЕКТНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ЗАДАЧИ ПРИ СИНТЕЗЕ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

3.1 Сложная техническая система – объект исследования и проектирования

Проектирование – это процесс, охватывающий все этапы жизненного цикла любой технической системы, включающий комплекс работ с целью получения описания нового (или модернизированного) технического объекта, достаточный для изготовления и эксплуатации объекта в заданных условиях.

В соответствии с современным толкованием этого понятия под проектированием принято понимать процесс преобразования информации (содержащейся в техническом задании и нормативных документах, а также в знаниях проектанта) в информацию, образующую проект системы.

Проектирование можно рассматривать как процесс выработки решений по самым разнообразным вопросам (например, из каких элементов должно состоять изделие, какими должны быть параметры каждого элемента и т. д.).

Сложная техническая система

Среди всевозможных технических систем можно выделить класс сложных (или больших) технических систем.

Существует много различных определений сложной системы. Некоторые из них основываются на сложности описания и исследования такой системы, т. е. обусловлены позицией исследователя. Более целесообразно при определении понятия сложной системы опираться на ее объективные свойства.

Под *сложной технической системой (СТС)* будем понимать систему, которая представляет собой совокупность технических систем, выступающих по отношению к внешней среде и другим системам как «единое целое» для достижения общей для них цели. Одним из примеров сложной технической системы является космическая система наблюдения за Землей.

Для строгого определения СТС необходимо найти, либо формальные признаки сложности, либо характеристики, по которым можно было бы отличать сложную систему от простой. При этом сложность представляется в двух аспектах – как сложность устройства и как сложность поведения. Множество элементов структуры, образующих систему, множество связей между ними, большое число входных, выходных переменных всегда ассоциируется с понятием сложность. Множество вариантов функционирования, невозможность предсказать поведение и состояние системы аналитическими методами также характеризует в глазах исследователей сложность системы.

К определению, что же такое сложная техническая система, целесообразно подойти также с технологической точки зрения – с точки зрения методов ее проектирования и исследования. Нелинейности, распределенные параметры, большая размерность вектора состояния, случайность параметров и структуры затрудняют исследование системы и предсказание ее поведения аналитическими методами и выдвигают на первый план имитационное численное моделирование как основной метод исследования.

Таким образом, для определения сложности технических систем необходимо использовать целую совокупность признаков и свойств, для каждого из которых возможно найти пример наличия его в простых системах, но в совокупности эти свойства встречаются только в сложных технических системах. Сложную техническую систему можно определить как систему, обладаю-

щую сложным устройством, сложным поведением, исследовать которую можно, только используя методы декомпозиции и имитационного моделирования.

Будем рассматривать *сложные технические системы, использующие летательные аппараты (ЛА) в качестве носителей устройств, предназначенных для выполнения целевых задач системы*. Такие системы находят широкое применение в интересах народного хозяйства и обороны страны (для научных исследований, контроля окружающей среды, изучения природных ресурсов, метеорологических наблюдений, связи, навигации и т. д.).

Создаваемые человеком предметы (машины, транспортные средства, летательные аппараты и т. д.) можно рассматривать как технические системы, полностью удовлетворяющие приведенному определению, если они обладают автоматическим управлением. В тех случаях, когда центральным органом управления является человек, говорят о *человеко-машинных системах*, которые включают в свой состав наряду с техническими компонентами человека-оператора. Примером может служить система «самолет – летчик».

Для сложных систем, включающих ЛА, характерно наличие в их составе новейших технических средств (радиоэлектронных устройств, автоматизированных систем управления), использование новейших материалов и технологических процессов, применение новейших методов анализа и синтеза систем с широким использованием систем автоматизированного проектирования, а также системная организация процессов управления созданием и развитием систем.

Безопасность СТС обеспечивается в рамках широко употребляемого понятия управления в нештатных ситуациях. Нештатная ситуация – сочетание условий и обстоятельств при эксплуатации сложных технических систем, отличающихся от предусмотренных

для нормального функционирования и ведущих к возникновению аварийных и опасных состояний.

Множество элементов структуры, образующих СТС, множество связей между ними, большое число входных, выходных переменных, так же как множество вариантов функционирования, невозможность предсказать поведение и состояние системы аналитическими методами всегда ассоциируются с понятием «сложность».

Системный анализ является основой научной методологии изучения сложных систем в количественных показателях. Он предусматривает применение арсенала современной математики или математической логики для исследования систем и количественных показателей с оптимизацией и поиском оптимальных или близких к ним квазиоптимальных решений. Системный анализ проводится обычно поэтапно на чередующихся операциях анализа и синтеза и направлен на раскрытие неопределенности системы, на получение более точных данных, на выявление основных взаимосвязей параметров системы, т.е. на последовательную замену незнания системы знанием о ней с количественной характеристикой компонентов и элементов.

Системный подход – это методология науки на уровне общенаучных принципов и форм исследования, применяемых в самых различных отраслях науки. Он основывается на диалектико-материалистических принципах системности и познания.

Применительно к проектированию сложных технических систем системный подход предполагает, прежде всего, рассмотрение системы как единого целого. Для системы в целом формулируются цели, рассматривается ее взаимосвязь с внешней средой и формируется «пакет» требований, выполнение которых должно обеспечить достижение цели. Далее разрабатывается общая структура системы, включающая совокупность компонентов, характеризую-

щихся их функциональным назначением в структуре, и определяются параметры этих компонентов, т.е. решается задача синтеза системы. Эти компоненты являются объектами последующих исследований. При этом если какой-то из компонентов также представляет собой сложную техническую систему, то процесс его исследования начинается в представленной выше последовательности.

В основе системного подхода лежит стремление изучить объект (систему, проблему, явление, процесс) как нечто целостное и организованное, во всей его полноте и во всем многообразии связей в объекте. Этот общий принцип ориентирует исследователя на рассмотрение объектов как систем.

На уровне конкретной научной методологии принципы системного подхода, применяемые при исследовании и разработке СТС, формулируются более конкретно. Так, например, согласно системному подходу каждый компонент СТС должен разрабатываться так, чтобы для СТС в целом обеспечить достижение поставленной перед нею цели и при этом с требуемой эффективностью. Чтобы лучше понять сущность этого принципа, укажем его альтернативу: несистемный подход – это стремление разрабатывать элементы СТС как самостоятельные и не связанные между собой.

Системный подход предполагает, что основные элементы, исследования: цели компонентов СТС, показатели эффективности и стоимости, модели и результаты исследований формируются как иерархические системы, соответствующие иерархической структуре СТС.

Организация исследования СТС начинается с выявления и четкого формулирования его конечных целей. Кроме конечных целей, существуют цели промежуточные. Принцип системного подхода в этом случае состоит в том, чтобы промежуточные цели

были подчинены конечным целям. Поэтому системный подход иногда называют целевым подходом. Причина многих ошибочных решений – ориентация на промежуточные цели, т. е. когда принимают решения, часто забывают о конечной цели.

Системотехника – научно-техническое направление, охватывающее решение комплекса теоретических и практических задач, возникающих при планировании, проектировании и разработке сложных технических систем, например, таких, как космические комплексы и системы, системы ПВО и др.

3.2 Основные признаки СТС. Методы анализа и синтеза СТС

Под *системой* обычно подразумевается совокупность связанных друг с другом различных элементов, составляющих нечто целое. Так, например, автопилот, самолет, завод, авиационная промышленность, народное хозяйство страны – все это системы. По существу, вся Вселенная состоит из множества систем, каждая из которых является частью более крупной системы. Всегда можно представить себе более обширную систему, в которую входит данная, и всегда можно выделить из данной системы какую-либо ее часть, являющуюся более ограниченной системой.

Сложной технической системой (см. рис. 3.1) мы будем называть систему, имеющую:

- сложное устройство – сложную многокомпонентную структуру со множеством связей между структурными элементами, отсюда вектор состояния большого размера, необходимость взаимосвязанного управления различными управляемыми координатами - компонентами вектора состояния;

- сложное поведение, которое трудно предсказать, так как имеет место множество вариантов функционирования, которые

реализуются под воздействием случайных возмущений, отказов и в условиях других неопределенностей;

– в качестве управляющего устройства ЭВМ, объединенных в вычислительную сеть; программное обеспечение этих средств и реализует сложное поведение СТС, а топология сети реализует взаимодействие структурных элементов СТС;

– средства, обеспечивающие безопасное управление в нештатных ситуациях, устранение последствий ошибок и отказов составляющих ее элементов.



Рисунок 3.1. Сложность и ее проявления

Рассмотрим примеры из области авиакосмической техники. То, что летательный аппарат представляет собой систему взаимосвязанных частей, вполне очевидно. В иерархической лестнице систем, включающей летательный аппарат, уровень ЛА будем рассматривать как базовый или начальный. Спускаясь вниз по лест-

нице уровней, мы можем выделить в составе ЛА такие компоненты, как агрегаты и комплектующие системы (корпус, двигательная установка, система управления и т. д.), затем узлы и приборы, детали и т. д. На каждом из указанных уровней инженерами различных специальностей решаются задачи исследования, проектирования и изготовления соответствующих агрегатов, узлов и деталей.

На уровнях выше ЛА можно представить себе ряд более обширных систем, в которые входит ЛА. Так, например, ракета является составной частью ракетного комплекса, который представляет собой совокупность функционально связанных ракет и оборудования, предназначенного для пуска ракет, управления их полетом и выполнения других задач. Совокупность однотипных ракетных комплексов входит в состав системы следующего более высокого уровня иерархии – *ракетной системы*.

Приведем пример из космической техники. Несколько космических аппаратов, решающих общую задачу, например, наблюдения за поверхностью Земли, составляют орбитальную группировку космических аппаратов (КА) – систему КА. На основе системы КА образуется космический комплекс – совокупность орбитальных и наземных технических средств. Совокупность космического комплекса и наземного специального комплекса (аппаратура приема, передачи и обработки информации для потребителей) составляет космическую систему. В состав космической системы могут входить несколько космических комплексов.

Можно представить космическую систему наблюдения за Землей, состоящую из космических комплексов, основанных на различных типах КА, предназначенных для наблюдения за объектами различных размеров через различные интервалы времени. Космическая система наблюдения может являться частью более обширной системы исследования природных ресурсов Земли,

включающей космические, авиационные, морские и наземные носители аппаратуры наблюдения.

Все приведенные совокупности разнообразных элементов (агрегаты и комплектующие системы, ракеты и КА, ракетные и космические комплексы и системы) являются системами различных уровней иерархии. Однако имеется существенное различие между ЛА и различными системами более высоких уровней иерархии. Все части летательного аппарата благодаря механическим, физическим и информационным связям образуют единое техническое изделие. Комплексы и системы более высоких уровней иерархии, чем ЛА, приобретают функциональную целостность только благодаря информационным связям между их компонентами. Компоненты СТС представляют собой технические изделия различной физико-технической природы (КА; наземные радиоантенны, цифровые вычислительные машины (ЦВМ), сооружения и оборудование стартового комплекса, ракета-носитель и др.) Объединенные информационными связями в целостную совокупность (космический комплекс наблюдения), компоненты СТС функционируют согласованно, обеспечивая решение задач, для которых предназначена система.

3.3 Содержание и взаимосвязь основных этапов синтеза технических систем

Под *анализом* понимается метод исследования путем логического (мысленного) разложения целого (системы, проблемы, процесса) на составные части и изучения отдельных сторон и свойств целого и его составных частей (например, анализ деформаций и напряжений конструкции, траекторный анализ, анализ аэродинамических характеристик, анализ теплового состояния и т.д.).

Под *синтезом* понимают определение структуры и параметров технической системы и ее компонентов, которые удовлетворяли бы в максимальной степени предъявляемым к ним требованиям (например, формирование схемного решения ракеты-носителя и выбор ее проектных параметров, удовлетворяющих требованиям технического задания, компоновка ракеты-носителя и т.д.).

Синтез систем опирается на математическое моделирование и на ряд прикладных математических дисциплин, в первую очередь на математическое программирование. *Техническими средствами синтеза* СТС служат ЭВМ и системы на основе ЭВМ: информационные, имитационные, автоматизированного проектирования.

3.3.1 Система и внешняя среда

В настоящее время в науке, технике и других областях человеческой деятельности понятие системы используется очень широко. Несмотря на это, не удастся выработать более или менее общеприемлемого определения понятия «система». Ни одно из философских определений, например, «система есть отграниченное множество взаимодействующих элементов» не может удовлетворить каждую область науки. В конкретных исследованиях и разработках систем правомерно и даже необходимо оперировать понятиями, более точно отражающими исследуемую область реальности. Поэтому и литературе можно найти несколько десятков определений понятия «система».

В соответствии со сказанным приведем понятие «система», специализированное для технических объектов и фиксирующее те свойства системы, которые обычно исследуются при решении технических задач.

Система – это *отграниченный* в окружающей ее *внешней среде* и *взаимодействующий* с ней *объект*, который обладает следующими взаимосвязанными свойствами:

1) имеет **цель** (назначение), для достижения которой он функционирует;

2) состоит из *взаимосвязанных* составных *частей-компонентов*, образующих многоуровневую (иерархическую) структуру и выполняющих определенные *функции*, направленные на достижение цели объекта;

3) имеет **управление**, благодаря которому все компоненты функционируют согласованно и целенаправленно;

4) имеет в своем составе или во внешней среде **источники энергии** и **материалов** для функционирования;

5) обладает **интегративными** свойствами, не сводимыми к сумме свойств его компонентов.

Рассмотрим выделенные в определении термины и свойства системы.

В реальном мире все взаимосвязано и поэтому выделение некоторой части объективно существующей реальности в самостоятельный объект является условным, относительным. Как определить границу «система – не система (внешняя среда)»? С одной стороны, граница определяется объективно существующей относительной самостоятельностью объекта и внутренней взаимосвязанностью его частей. Однако это объективно существующее разграничение системы и среды является нечетким, размытым. С другой стороны, граница определяется целью исследователя, его пониманием реальности, исследовательскими возможностями. Это разграничение является уже четким, но условным и представляет собой методический прием, обусловленный субъективным мнением исследователя.

Таким образом, *отграничение системы* означает выделение некоторого объекта и условное разграничение тем самым (всей объективно существующей реальности на *систему* и *внешнюю среду*).

Система, выделенная из окружающей ее внешней среды, является обособленной лишь условно, так как всегда имеет место *взаимодействие системы с внешней средой*. Отличительной особенностью любого исследования системы является полная бессмысленность этого исследования без надлежащего учета взаимодействия системы с внешней средой. Так, например, при изучении полета крылатого ЛА в атмосфере Земли внешней средой для ЛА являются воздушная среда и гравитационное поле Земли. Они вызывают соответственно силы, действующие на ЛА: аэродинамическую силу и силу земного притяжения, без учета которых исследование полета будет бессмысленным.

Итак, любая система является частью некоторой более обширной системы. Приступая к исследованию или проектированию системы, прежде всего, необходимо выделить систему из окружающих ее систем, другими словами, определить систему, установив ее состав и границы. Если исследуемая или проектируемая система неправильно выделена из внешней среды, то может оказаться, что при исследовании будут сделаны неправильные выводы, а при проектировании будут приняты нерациональные, а в некоторых случаях и ошибочные решения.

3.3.2 *Цель системы*

Выделение системы из внешней среды является одним из элементов процесса постановки задачи. Здесь же ограничимся замечанием, что в основу выделения системы из внешней среды должен быть положен целевой подход. Другими словами, при выделении из внешней среды некоторой совокупности взаимосвя-

занных частей в качестве обособленной системы следует руководствоваться целью функционирования системы.

Характерным свойством любой системы, созданной или создаваемой человеком, является наличие у системы цели функционирования, для достижения которой все компоненты системы работают согласованно и целенаправленно. Под *целью системы* понимается желаемый результат функционирования системы, т. е. ее назначение, определенное человеком. Так, например, целью космической системы наблюдения за Землей может являться периодическое наблюдение природных ресурсов в заданном регионе земной поверхности.

В случае процесса проектирования системы цель процесса включает в себя как составную часть цель системы, например, разработка проекта космической системы связи внутри отдельного региона поверхности Земли (разрядкой выделена цель системы). Таким образом, исследователям и проектировщикам систем приходится встречаться с двумя типами целей. К первому типу относятся цели систем, целями второго типа являются цели проектирования, решения проблем и задач.

3.3.3 Критерии эффективности СТС

Описание цели предполагает также выбор *критерия предпочтения* (критерия), который должен соответствовать как модели цели, так и решаемой задаче (синтеза системы). Для глобальной оценки соответствия качеств синтезируемой системы целям ее создания применяется система критериев эффективности (функция цели), связанных с такой оценкой.

Наилучшей считается система, для которой критерий достигает экстремального значения (минимума или максимума в зависимости от физической природы критерия). Показатели эффективности критерия обычно тесно связаны с характеристиками системы; именно

один из показателей эффективности часто используется в качестве критерия в задачах оптимизации.

Критерий – это признак или условие, по которому выделяется наиболее предпочтительный, эффективный из различных вариантов, способов достижения поставленной цели при их сопоставлении.

3.3.4 Структура системы

Система состоит из составных частей – **компонентов**. Выделение тех или иных компонентов в системе определяется двумя соображениями: с одной стороны, объективно существующими свойствами системы, с другой – целями и позицией исследователя, его представлением о системе и исследовательскими возможностями.

Компоненты системы могут быть двух типов – подсистемы и элементы системы, **элементы** – это минимальные для данной задачи части, выполняющие в ней определенные функции. В условиях рассматриваемой задачи они дальнейшему членению не подлежат. **Подсистемы** же расчленяются дальше на свои компоненты: подсистемы более низкого ранга и элементы. Выделение подсистем как самостоятельных компонентов является методическим приемом, удобным для данного исследования. В результате использования этого приема устанавливается **иерархия компонентов системы**.

При этом каждая подсистема может рассматриваться как система более низкого уровня, а сама исследуемая система может входить составной частью (компонентом) в некоторую систему более (высокого уровня (надсистему)), находящуюся во внешней среде по отношению к исследуемой системе.

Совокупность составляющих систему компонентов в их взаимосвязи друг с другом представляет собой **структуру системы**,

т. е. строение и внутреннюю форму организации системы. **Структурные связи** – связи между компонентами системы – являются устойчивыми, благодаря им система сохраняет свои свойства при изменении внешних и внутренних условий.

Реальные связи между компонентами системы обычно являются очень сложными и притом различной природы; физические, химические, информационные, организационные и прочие. В самом общем виде можно выделить два основных типа структурных связей; «подчинения-подчиненности» и «согласования».

Связь подчинения-подчиненности предполагает, что одни из двух взаимосвязанных компонентов является определяющим в их совместном функционировании. **Связь согласования** предполагает, что роли обоих взаимосвязанных компонентов в их совместном функционировании равноценны.

Связи между компонентами определяют **иерархическую структуру системы** – размещение компонентов системы по иерархическим уровням. Два компонента, связанных подчинением-подчиненностью, размещаются на соседних уровнях иерархии. Компоненты на одном уровне иерархии могут иметь связь согласования.

Между компонентами системы и компонентами внешней среды также имеются связи – **коммуникативные связи**. Аналогично структурным связям они могут быть двух типов: подчинения-подчиненности и согласования. Так, например, ЗУР – компонент системы ПВО – взаимодействует с такими компонентами внешней среды, как атмосфера и самолет противника.

Каждый компонент в составе системы выполняет определенные функции. Они определяются, с одной стороны, собственными свойствами компонента, а с другой, его структурными и коммуникативными связями. Между функциями компонентов также имеются связи подчинения и согласования, в результате чего можно

представить *иерархическую структуру функций компонентов*. На верхнем уровне этой иерархической структуры находится цель системы, на достижение которой направлены все функции компонентов системы. В связи с этим функции компонентов можно трактовать как цели функционирования компонентов.

3.3.5 Управление и информационное обеспечение

Согласованное взаимодействие всех компонентов системы друг с другом и процессе достижения системой возложенной на нее цели (в процессе функционирования системы) обеспечивается путем управления системой. Наличие управления является неотъемлемым свойством любой системы.

Для управления системой необходим специальный механизм управления компонентами. В системах, создаваемых человеком (технических, экономических, организационных и прочих) – это *система управления*, которую образуют специализированные компоненты системы.

Система управления является подсистемой в данной системе и может иметь иерархическую структуру. В системе управления должен быть некоторый компонент, который вырабатывает и принимает решение по управлению. В иерархической структуре подсистемы управления он находится на самом верхнем уровне, и его можно назвать *центральным органом управления*.

Для управления системой необходима информация о состоянии внешней среды и компонентов системы, о выполнении компонентами своих функций. Для этого необходимы специальные датчики (чувствительные элементы), воспринимающие информацию, передача информации по информационным каналам и, если управление осуществляется человеком, отображение информации. Все это можно назвать *информационным обеспечением* системы.

Например, в ЛА информационное обеспечение может реализовываться специальными датчиками, размещенными в компонентах ЛА, датчиками системы управления полетом (акселерометрами, гироскопами и др.) и т. д. Информация эта по специальным каналам поступает в бортовую цифровую вычислительную машину (БЦВМ) или отображается на приборных щитах для информирования пилота. Центральным органом управления является при этом БЦВМ или пилот.

Для выработки управляющего воздействия – *управления* (сигнала, команды, решения) – необходимо, чтобы в центральном органе управления происходило сравнение информации о состоянии внешней среды и компонентов системы с требуемым или желаемым состоянием системы во внешней среде (определение *рассогласования*) и вырабатывалось управление (по принципу *обратной связи*) по приведению системы в требуемое состояние.

3.3.6 Материально-энергетическое обеспечение

Система для функционирования должна иметь материально-энергетическое обеспечение. Для этого в ее состав должны входить: запасы или источники материальных и энергетических ресурсов, преобразующие устройства, каналы материального и энергетического снабжения, доставляющие компонентам системы необходимые материалы и энергию.

Эти функции могут выполнять специализированные компоненты системы. Последние могут иметь коммуникативные связи, через которые поступают необходимые ресурсы из внешней среды.

Для эксплуатации самолета, например, необходимо иметь на «его борту запасы топлива и систему энергопитания; необходимы также запасные части, средства технического обслуживания и текущего ремонта и др.

3.3.7 Целостность системы

Целостность системы означает, что из ее свойств принципиально невозможно вывести сумму свойств составляющих ее компонентов и, наоборот, из свойств компонентов невозможно вывести свойства целого, т. е. системы. Про это говорят, что система обладает *интегративными свойствами*.

Так, например, компоненты ЛА создают силу тяги (двигательная установка), подъемную силу при движении ЛА относительно воздуха (крыло), отклоняют органы управления (система управления) и пр. При совместном согласованном функционировании всех компонентов ЛА возникает новый эффект – управляемый полет ЛА, который не присущ ни одному компоненту ЛА в отдельности.

3.3.8 Элементы исследования систем

СТС на практике исследуется большим количеством специалистов различного профиля. Поэтому в дальнейшем под исследователем будем понимать как одно лицо, так и коллектив специалистов, решающих общую задачу.

Даже большой коллектив специалистов не в состоянии охватить исследованием сразу всю совокупность свойств СТС. В связи с этим различают аспекты (точки зрения) исследования. Исследование отдельных свойств (или группы взаимосвязанных свойств) определяет **аспект исследования** СТС. Так, например, космическую систему наблюдения (КСН) можно изучать как техническую систему, т. е. как ограниченную совокупность взаимодействующих технических средств. Соответствующий аспект изучения можно назвать **техническим**. КСН можно изучать так же, как организационную систему, объединяющую различные подразделения, в которых работают люди, обеспечивающие функционирование системы, например, в центральном пункте управления КА,

командно-измерительных пунктах, пунктах приема специальной информации и т. д. Этот аспект изучения будет *организационным*. КСН можно представить и как экономическую систему, рассмотрев расходы на создание и эксплуатацию системы и доходы от использования полученной от КСН информации. Это будет *экономический* аспект изучения.

Исследование СТС в целом обычно содержит следующие существенные элементы: цели СТС, альтернативы, показатели и критерии, модели, алгоритмы и программы, рекомендации.

В исследовании СТС под *альтернативами* понимают возможные пути или средства достижения целей исследуемой СТС (например, различные варианты структуры и значений параметров КСН или различные способы использования КСН для наблюдения заданного региона земной поверхности).

Чтобы выбирать альтернативы, необходимо получать количественные оценки степени достижения цели и важнейших свойств СТС. Для этого используются соответствующие *числовые характеристики* свойств СТС: показатели эффективности, надежности, помехозащищенности, качества управления и др. Под *показателем эффективности* СТС будем понимать такую характеристику СТС, которая оценивает количественно степень достижения цели.

Особую роль играют показатели, оценивающие затраты ресурсов. Для создания и (или) эксплуатации любой СТС необходимы определенные затраты ресурсов (денег, оборудования, материалов, энергии, рабочей силы и т. д.). Для каждой из альтернатив достижения цели СТС требуются свои затраты ресурсов, чаще всего оцениваемые *показателем стоимости* создания и эксплуатации СТС. В общем случае может оказаться необходимым учитывать, кроме стоимости, и затраты других материальных ресурсов, главным образом, дефицитных.

Для выбора предпочтительной альтернативы служат **критерии** – правила, на основе которых по значениям показателей принимаются рекомендации по выбору альтернатив. Так, например, показателем эффективности КСН может быть наблюдаемая площадь земной поверхности за определенный промежуток времени. Исследователь КСН в этом случае может рекомендовать такой из альтернативных вариантов, который обеспечит выполнение критерия: «максимальная площадь наблюдения за определенный промежуток времени при ограниченной стоимости КСН».

Модель представляет собой математическое описание зависимостей между показателями эффективности и качества СТС, альтернативами достижения цели и характеристиками внешней среды.

Алгоритм решения задачи на ЭВМ – это предписание, определяющее последовательность логических и вычислительных операций, которые следует выполнять над исходными данными и информацией, возникающей в ходе этих операций, для того чтобы решить поставленную задачу. Текст описания алгоритма, составленный средствами какого-либо языка программирования, называется **программой**.

Результатом исследования СТС являются **рекомендации** по выбору предпочтительной альтернативы. Получение рекомендаций является целью исследования СТС. На основе рекомендаций и неформальных суждений руководитель принимает проектировочное решение.

3.4 Основные этапы исследования систем

Процесс исследования СТС можно разделить на следующие основные этапы: постановка задачи, выбор критериев, разработка модели, исследование модели, выработка рекомендаций.

Постановка задачи является очень важным этапом исследования СТС и включает в первую очередь формулировку существа задачи исследования СТС, определение цели СТС и выбор возможных альтернативных путей ее достижения.

Выбор критериев принятия рекомендаций является исключительно ответственным этапом исследования СТС и заключается в выборе таких показателей эффективности и качества СТС и такого правила принятия рекомендаций, чтобы по численному значению показателей можно было судить об успешности решения задачи.

Разработка математической модели – центральный этап исследования любой системы. От качества модели зависит судьба всего исследования. Этап разработки модели может быть подразделен на три подэтажа:

- построение модели;
- нахождение приближенного численного метода решения задачи, т. е. разработка алгоритма ее решения, например алгоритма оптимизации;
- программирование модели и вычислительного алгоритма для ЭВМ.

К этому же этапу можно отнести подготовку исходных данных, необходимых как для построения модели, так и для проведения последующих вычислений.

Исследование модели выполняется на ЭВМ путем вычислений в пакетном или диалоговом режиме.

В литературе еще не установились общепринятые названия для этапов разработки и исследования моделей. Так, разработку моделей называют *математическим моделированием* или просто *моделированием*. Эти термины используются также для обобщенного наименования этапов разработки и исследования моделей. Совокупность этих двух этапов называют еще

математическим экспериментом, а также *имитационным моделированием*.

Выработка рекомендаций

Часто указанные этапы исследования трудно четко отграничить друг от друга, так как исследование может проходить путем параллельного выполнения некоторых этапов и неоднократных повторений пройденных этапов – итеративным путем. Например, на каждом из этапов может потребоваться уточнение постановки задачи. В таких случаях цикл исследований повторяется. Процессы построения модели, разработки алгоритма вычислений и программирования часто идут параллельно, взаимодействуя друг с другом.

Задача анализа состоит в определении свойств СТС по ее структуре и значениям параметров; задача синтеза – в определении структуры и значений параметров СТС по заданным свойствам.

Анализ СТС осуществляется с помощью расчетов для серии вариантов структуры и параметров СТС – *вариантных расчетов*. Прямой (непосредственный) синтез СТС является проблемой чрезвычайной сложности. На практике задача синтеза СТС обычно решается путем изучения и обобщения данных, добытых анализом. (Вспомним слова Энгельса: «Без анализа нет синтеза»). Оценив результаты вариантных расчетов с помощью критериев принятия рекомендаций, выбирают предпочтительный вариант структуры и параметров СТС.

3.5 Задачи структурно-параметрического синтеза СТС.

Декомпозиция проектно-исследовательской задачи

Как правило, задачи проектирования изделий космической техники, относящиеся к классу сложных технических систем,

очень трудоемкие. На практике разделяют общую задачу на ряд частных задач, и каждую из них решают как самостоятельную. Операцию разделения целого на части называют *декомпозицией*.

При декомпозиции системы одновременно происходит разбиение и закрепление целей, критериев их достижения и соответствующих числовых показателей за структурными элементами большой системы – подсистемами. В свою очередь эти подсистемы (подзадачи) также разбиваются на подсистемы второго уровня и т. д.

Декомпозиция СТС на ряд подсистем в данном разделе рассматривается на базе системы получения информации дистанционного зондирования Земли из космоса. При этом сам спутник ДЗЗ является только одной из подсистем этой большой распределенной системы. В свою очередь, спутник должен быть разделен на ряд подсистем, в частности на целевую аппаратуру – аппаратуру ДЗЗ и обеспечивающие работу аппаратуры ДЗЗ подсистемы.

Декомпозиция имеет обратную сторону медали: после разбиения целого на подсистемы и независимой разработки подсистем обязательно следует процесс интеграции, когда из подсистем собирается целое – сложная техническая система.

Декомпозиция как метод разделения целого на части сложную систему часто представляет в виде иерархической структуры. При этом исходная СТС представляет нулевой уровень. Далее она представляется в виде ряда подсистем первого уровня, каждая из которых в свою очередь может быть представлена подсистемами второго уровня и т.д. Построение подобной иерархической структуры носит эвристический характер. Он проявляется, прежде всего, в выборе числа уровней и перечня подсистем.

Подобная иерархическая структура всегда субъективна. С развитием техники возможна интеграция тех или иных подсистем.

Декомпозиция – научный метод, использующий структуру задачи и позволяющий заменить решение одной большой задачи решением серии меньших задач. При этом надо учитывать, что декомпозиция не нарушает целостности системы. То есть декомпозированная система не разрозненный набор подсистем, а целостный объект, допускающий членение. Поэтому при декомпозиции задачи одновременно происходит разбиение и закрепление целей, критериев их достижения и соответствующих числовых показателей за структурными частями большой задачи – подзадачами. В свою очередь, эти подзадачи также разбиваются на подзадачи второго уровня и т. д.

Содержание концепции декомпозиции состоит в том, что при проектировании и исследовании СТС в первую очередь выявляется ее внутренняя структура, характер связей между частями или элементами с целью свести исходную задачу исследования СТС к совокупности частных задач исследования ее составных частей, по возможности слабосвязанных. Цель декомпозиции – снизить сложность представления устройства системы, сложность ее поведения и сложность представления ее работы, для разработчика, пользователя и заказчика.

Декомпозиция может продолжаться до тех пор, пока не будут выделены достаточно простые составляющие рассматриваемой системы и ее подсистемы. Здесь «простота» является субъективным показателем, то есть каждый аналитик определяет сам для себя, как долго необходимо выполнять разбиение системы и ее подсистем на составляющие элементы.

Глубина декомпозиции ограничивается. Если при декомпозиции выясняется, что модель определенного иерархического уровня начинает подробно описывать внутренний алгоритм функционирования элемента вместо представления закона его функционирования в виде «черного ящика», то в этом случае произошло изме-

нение уровня абстракции и выход за пределы цели исследования СТС в целом. Это должно приводить к прекращению декомпозиции.

Декомпозицию СТС на ряд подсистем удобно рассмотреть на базе системы получения информации дистанционного зондирования Земли из космоса.

В этом случае сам спутник ДЗЗ, который в глазах многих людей определяет понятие ДЗЗ, оказывается только одной из подсистем этой большой распределенной системы. В свою очередь, спутник должен быть разделен на аппаратуру ДЗЗ и обеспечивающие работу аппаратуры ДЗЗ подсистемы.

Кроме того, имеется обширный наземный сегмент системы получения информации ДЗЗ, который состоит также из двух частей: наземного комплекса управления и системы сбора обработки и распределения информации ДЗЗ. На рис. 3.2 приведены уровни декомпозиции.



Рис. 3.2. Схема декомпозиции системы получения информации ДЗЗ из космоса

Под *структурой* объекта понимают состав его компонентов и связи компонентов друг с другом. Параметр – это величина, характеризующая некоторое свойство объекта или режим его функционирования. Полагают, что структура системы дает ее качественное описание, а параметры – количественное. Поэтому возникает понятие «структурно-параметрического синтеза сложной технической системы».

Проектирование СТС можно рассматривать как процесс выработки решений по самым разнообразным вопросам, например, какую структуру (какое построение) должна иметь СТС, из каких элементов и какого типа она должна состоять, какие требования следует предъявить к элементам СТС и т. д. Решения принимают в зависимости от своих полномочий руководители различных уровней. Для принятия решения руководителю требуется соответствующая информация, которую получают, выполняя необходимые исследования.

Исследование СТС состоит в применении научных принципов, методов и средств к решению задач, возникающих в процессе проектирования СТС. Большую роль в получении информации для принятия решений играют исследования, основанные на математическом моделировании, поскольку без надлежащих количественных характеристик, получаемых математическим путем, невозможно принимать проектировочные решения. Однако никакое исследование не в состоянии учесть множество самых разнообразных факторов, которые требуется учитывать при проектировании СТС. Поэтому необходимы и играют решающую роль суждения руководителя, основанные на его опыте, интуиции, знаниях и творческих способностях.

В реальном процессе принятия проектировочных решений исследования и неформальные суждения взаимосвязаны и, более того, неразделимы.



Рис 3.3. Процесс принятия решения руководителем

Итак, процесс принятия решения при проектировании СТС состоит из следующих основных элементов исследований СТС с целью получения рекомендаций для выработки решений; принятия решений руководителями на основе результатов исследований и неформальных суждений о неучтенных при исследованиях факторах.

Интервал времени от начала создания сложной технической системы до конца ее эксплуатации называют **жизненным циклом СТС**, при этом за начало жизненного цикла можно принять зарождение идеи о необходимости создания СТС, за конец – снятие системы с эксплуатации. Жизненный цикл СТС может быть представлен в виде следующих основных этапов: планирования; проектирования СТС; проектирования элементов; серийного изготовления и сооружения элементов.

Разумеется, что приведенное разделение жизненного цикла на этапы является в определенной мере условным. Оно имеет целью показать место и роль проектирования СТС в ее жизненном цикле. В реальной жизни трудно провести четкие грани между различными стадиями создания СТС, в особенности между первыми тремя этапами. На этих этапах, проходящих в основном в НИИ и ОКБ, выполняются поисковые, проектно-исследовательские и проектные работы, а также испытания опытных образцов изделий. Все эти работы и соответствующие им этапы будем сокращенно называть проектно-исследовательскими.

Проектно-исследовательские работы завершаются на третьем этапе, на котором происходит проектирование элементов СТС (ЛА, пусковой установки, РЛС и др.). На этом этапе разрабатываются технические предложения, затем – эскизный и технический проекты, а также изготавливаются и испытываются опытные образцы элементов. Одновременно выполняются НИР с целью получения информации, необходимой для принятия рациональных проектировочных решений.

Результаты исследований на этапе планирования СТС дают возможность приступить к следующему этапу проектно-исследовательских работ – к проектированию СТС. Работы на этом этапе разворачиваются в условиях, когда на проектируемую СТС в целом уже наложены некоторые требования и ограничения, определенные на этапе планирования. В свою очередь задача проектирования СТС состоит в формулировании требований и ограничений, в рамках которых будет проходить проектирование элементов СТС. Для этого уточняются облик системы, структурное построение и тип каждого элемента, устанавливаются диапазоны основных характеристик элементов, обеспечивающие выполнение СТС целевого назначения. Итогом работ на втором этапе являются проект СТС и технические задания на проектирование ее элементов. Проект СТС служит основой для проведения третьего этапа проектно-исследовательских работ – проектирования элементов СТС.

4 ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОЕКТНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

4.1 Модели для синтеза систем

Модель является намеренно упрощенной схемой (имитацией) некоторой части реальной действительности, с помощью которой исследователь получает рекомендации к решению реальных проблем. Модель представляет собой систему элементов, воспроизводящую определенные стороны, связи, функции объекта исследования.

Различают **физические, знаковые и комбинированные** модели.

Современная наука для воспроизведения свойств объектов все чаще прибегает к знаковым моделям. **Знаковая** (или мысленная) *модель* воспроизводит объект исследования с помощью математических или логических знаков (символов), т. е. путем словесного, логического, графического, графоаналитического или математического описания объекта. К знаковым моделям относятся, например: математическая модель, чертеж объекта, электрическая схема, карта, словесное описание объекта, построенное определенным образом, программа на языке вычислительной машины.

Для исследования СТС в целом на этапах проектно-исследовательских работ единственно возможными оказываются **математические модели**, поскольку на этих этапах не только не существует СТС в целом, но, как правило, еще не созданы ее подсистемы и даже отдельные элементы. Достоинством математических моделей является возможность их реализации на ЭВМ, а также возможность исследования любых явлений и систем, которые не удастся изучить физически или которые физически

не существуют к началу исследования, как это имеет место в случае СТС.

Физическая (натурная или вещественная) *модель* воспроизводит объект с сохранением или имитацией основных сторон его физической природы. Примерами физических моделей могут служить: испытание модели ЛА в аэродинамической трубе; электрическая схема, набранная в аналоговой вычислительной машине, тренажер для обучения пилотов и т. п.

Физические модели применяются при исследовании компонентов СТС. Они сходны с оригиналами по основным признакам и отличаются от них лишь по отдельным второстепенным свойствам. Достоинство физических моделей заключается в возможности исследования систем и процессов, которые не могут быть изучены с помощью математических моделей. Для физических моделей характерна большая наглядность результатов моделирования.

Комбинированная (или смешанная) *модель* воспроизводит объект с применением как физических, так и знаковых способов моделирования. При исследовании СТС комбинированные модели представляют собой сочетание математических и физических моделей» причем часть процесса функционирования СТС, которая не поддается математическому описанию, моделируется физически и наоборот.

Примером комбинированной модели является сочетание ЭВМ, реализующей математическую модель, и человека, моделирующего физически управление СТС в реальном масштабе времени. При этом взаимодействие человека с ЭВМ происходит в диалоговом режиме с помощью дисплея, отображающего информацию, переработанную ЭВМ, и пульта для ввода в ЭВМ команд и информации. По сравнению с действиями человека в реальной ситуации роль человека, действующего в модели, ограни-

чена, так как он связан всеми допущениями, упрощениями и ограничениями, присущими модели и заложенными в ЭВМ.

Построение модели объекта и проведение с ее помощью различных исследований называют *моделированием*. В основе моделирования лежит определенная аналогия, соответствие между исследуемым объектом и его моделью. Это позволяет основывать исследование на предпосылке, что, изучив упрощенный образ объекта с помощью модели, исследователь получает ответ, аналогичный тому, который он получил бы, изучив реальный объект.

Соответствие модели оригиналу не является абсолютным. Между ними есть и существенные различия. Иначе не было бы смысла в самом моделировании, в использовании модели в качестве «заместителя» изучаемого объекта. Модель воспроизводит лишь некоторые, важные в данном исследовании стороны оригинала, отвлекаясь от других его сторон. Моделирование широко используется в современной науке. Оно существенно облегчает исследование, а в ряде случаев оказывается единственным средством познания сложных объектов. В науке нередки случаи, когда непосредственный доступ к объекту затруднен из-за его слишком больших или слишком малых размеров, значительной удаленности и т. д.

Для исследований СТС могут использоваться модели различной степени сложности: от простейших моделей в виде одной формулы, до сложной иерархической системы моделей. Типовая модель для синтеза СТС состоит из ряда субмоделей или блоков. **Основными из них являются модели системы, внешней среды, компонентов операции, стоимости, а также блок вычислительного алгоритма решения задачи синтеза (блок оптимизации).**

Под *операцией* понимается любое целенаправленное действие человека, группы людей и системы человек-машина. Операции

имеют широкий диапазон – от простейшего действия до функционирования сложных систем. Так как для реализации операции необходимо управление, большинство СТС являются человеко-машинными системами.

Модель операции – это аналог операции, отражающий закономерности функционирования СТС во взаимодействии с внешней средой, а также основные физические и информационные связи между ними и их компонентами. Модель операции СТС обычно математическая или комбинированная.

Модель операции СТС должна описывать характеристики СТС и особенности ее структуры, характеристики внешней среды и процесса функционирования СТС.

Модель операции СТС служит для выбора такой структуры СТС и таких значений ее параметров, которые доставляют показателям эффективности и стоимости значения, удовлетворяющие критерию эффективности. Это задача синтеза, для решения которой либо анализируются результаты вариантных расчетов, либо используются методы оптимизации. И в том, и в другом случае можно говорить об алгоритмах оптимизации. В связи с этим условимся под *блоком оптимизации* понимать условное название совокупности вычислительных алгоритмов, используемых при синтезе СТС.

В состав модели для синтеза СТС в качестве одной из важнейших частей входит модель стоимостных оценок, называемая в дальнейшем для краткости *моделью стоимости*. Эта модель предназначена для выявления затрат, связанных с исследованием, проектированием, созданием, эксплуатацией и применением СТС. Модель стоимости представляет собой совокупность соотношений, позволяющих получить стоимостную оценку операции в зависимости от параметров СТС.

Вне зависимости от типа исследуемых систем и существа решаемых задач можно указать следующую схему разработки модели операции:

- выявление определяющих параметров внешней среды;
- учет неопределенности характеристик внешней среды и оценка достоверности ее известных характеристик; собственно разработка модели (выявление и описание взаимосвязей между определяющими параметрами);
- корректировка модели при разработке вычислительного алгоритма и при программировании;
- проверка и корректировка модели на основании анализа результатов моделирования.

Построение модели начинается уже в процессе постановки задачи и сбора необходимой информации, когда исследователь получает некоторое представление о важнейших определяющих факторах. После выявления определяющих параметров СТС и внешней среды следует выяснить, в какой взаимосвязи они находятся. Как правило, связи между параметрами сложны. Разработка модели состоит в установлении системы уравнений и соотношений, описывающих количественные, качественные и логические связи между определяющими факторами и параметрами СТС и внешней среды и параметрами, характеризующими операцию.

В простейших случаях в качестве модели могут быть использованы различные математические описания типичных операций и систем с известными характерными свойствами. Подобная ситуация, когда удастся воспользоваться готовой математической моделью операции, на практике встречается крайне редко. В действительности построение модели оказывается достаточно сложной процедурой.

Наибольшие трудности возникают, когда необходимо разработать модель для принципиально новой СТС. В этом случае

основная трудность построения модели состоит в том, что вначале неизвестно, что имеет, а что не имеет прямого отношения к решаемой задаче. Исследователь движется вперед, идя по пути последовательных приближений, накапливая опыт построения и испытаний первоначальных моделей, экспериментируя на бумаге или на ЭВМ, чтобы уточнить свои первоначальные суждения. По мере развития исследования первоначальная модель уточняется и изменяется: включаются новые параметры, некоторые параметры отбрасываются, с большей точностью описываются взаимосвязи между параметрами и т. д.

Все предположения, используемые при построении модели, исследователь должен изложить в отчете по НИР абсолютно четко. Это содействует организации мышления исследователя, позволяет оценить степень достоверности модели и помогает проектировщику избежать ошибок в принимаемых решениях.

Разработка и совершенствование модели могут продолжаться при вычислениях на ЭВМ. Результаты вычислений часто указывают на необходимые изменения модели либо в сторону ее упрощения, либо в сторону большего приближения к реальным условиям.

Качество модели можно существенно улучшить, изучая положения, противоречащие исходным предпосылкам.

4.2 Методы построения моделей

Одну и ту же СТС можно представлять различными моделями. Выбор модели зависит как от свойств СТС, так и от постановки задачи. Универсальных моделей не существует, и ни одна модель не может дать ответа на все вопросы, касающиеся разработки данной СТС.

В зависимости от предполагаемого способа решения задачи существуют следующие пути построения моделей:

1) составление достаточно простой модели для того, чтобы оптимальные значения параметров можно было определить аналитически;

2) построение модели для расчета большого количества вариантов при помощи ЭВМ;

3) построение модели для применения математических методов оптимизации;

4) составление модели для использования суждения человека.

Чтобы пояснить последний случай, заметим, что модель оказывается всегда полезной для понимания проблемы. Она может даже не использоваться для расчетов, но при том быть исключительно полезной для логического анализа. В некоторых случаях анализ СТС может быть проведен и без построения модели. Суть анализа состоит в том, чтобы составить перечень возможных альтернатив и сравнить их по критериям эффективности. Необходимость применения тех или иных моделей, математических методов и зависит от характера задачи и объема анализируемой информации.

Основными требованиями, которым должны удовлетворять модели для синтеза СТС, являются следующие: представительность, критичность к выбираемым параметрам, правильный учет случайных факторов и неопределенностей, максимально возможная простота.

Главным из перечисленных требований является требование представительности (или состоятельности): модели, которое заключается в способности модели адекватно отражать связь между выбранными показателями эффективности и параметрами СТС. В противном случае задача будет решена неправильно. Степень достоверности в отображении моделью существенных для данной

задачи свойств исследуемого объекта – вот что наиболее важно для исследования СТС.

Модель должна быть критичной к выбираемым параметрам, т. е. при изменении этих параметров должно происходить такое изменение показателя, которое можно выявить в условиях погрешности вычислений.

Общеизвестно, что учет большого числа факторов ведет к чрезмерному усложнению моделей, вследствие чего задача становится трудноразрешимой или вообще неразрешимой. Следует дополнительно заметить, что при этом исследователь отвлекается от решения общих вопросов проблемы на разработку деталей модели.

Для упрощения вычислений и анализа результатов исследования желательно, чтобы модель была по возможности простой. Нетрудно видеть, что данное требование находится в некотором противоречии с требованием представительности модели, которое обычно ведет к усложнению модели. Достоинство модели исследуемой СТС зависит не от ее сложности или простоты, а от того, насколько верно она описывает работу будущей СТС. Поэтому противоречие между требованиями представительности и простоты модели разрешается комплексным требованием максимальной простоты модели при обеспечении необходимой представительности, обусловленной целью исследования.

4.3 Учет возможностей современной вычислительной техники

Решение задачи синтеза СТС без ЭВМ практически невозможно вследствие сложности и высокой размерности задачи. Однако не следует рассматривать вычислительную технику (ВТ) как современное средство получения рекомендаций и полагать, что для решения любых трудных задач достаточно иметь большую

ЭВМ. Сами ЭВМ задач не решают. Они только исполняют команды, введенные в них программами, т. е. могут сделать только то, что им предписано исследователями. Качество решений, получаемых с помощью ВТ, полностью определяется исследователем, который ставит задачу и формулирует цель, строит модель и выбирает показатели оценки путей достижения цели. ЭВМ не поможет исследователю в решении задач, недоступных его интеллекту.

Построение моделей настолько тесно связано с использованием ВТ, что разделить эти два вопроса полностью нельзя. При построении модели еще до вычислений приходится учитывать возможности ЭВМ. Высокое быстродействие используется исследователем для построения более сложной модели. Повышение быстродействия дает исследователю возможность рассмотреть задачу более детально, построить более сложную модель, которая позволит проводить оптимизацию в более широких пределах и избежать необходимости в субоптимизации.

Несмотря на большие возможности современных ЭВМ, те или иные упрощения модели неизбежны. Это вынуждает исследователя опускать в какой-то мере существенные детали и выбирать обобщенные (укрупненные) определяющие параметры с учетом ограничений машинного времени и объема памяти. Нередко первоначальная модель оказывается слишком сложной и требует затрат такого количества вычислений, что решение теряет всякий смысл. В таком случае модель нуждается в упрощении, и хотя при этом решение оказывается в определенной степени приближенным, оно все же может быть вполне достаточным для достижения поставленных целей.

В процессе вычислений углубляются представления о решаемой задаче и это вынуждает корректировать модель. Использование ВТ не должно обольщать исследователя. Он должен понимать, что более сложные модели также включают допущения, но

на ином уровне детализации задачи, и что достоверность результатов вычислений не выше достоверности модели, с которой работала ЭВМ.

Большое значение для получения достоверных результатов имеет *подготовка исходных данных*. Исследователю необходимо выяснить, насколько точно определены значения коэффициентов уравнений, начальные и граничные условия. Если исходные данные будут иметь большую погрешность, то модель не будет соответствовать действительности. Исходные данные должны быть надежны и доброкачественны.

Обычно вычисления начинаются с проверки модели. При исследовании СТС, для которых проведение натуральных экспериментов невозможно, с целью проверки модели используются некоторые следствия, вытекающие из модели, или ее частные случаи. Имеется в виду, что для этих следствий или частных случаев имеются данные, позволяющие сделать заключение о соответствии модели действительности. Может оказаться, что полученные результаты находятся в противоречии со здравыми суждениями. Это означает, что принятая модель является слишком грубым и схематичным описанием исследуемых процессов и нуждается в дальнейшем уточнении или даже замене новой моделью.

При исследовании компонентов СТС с помощью достаточно полной и детальной модели в некоторых случаях можно получить не менее надежную и богатую информацию о свойствах и характеристиках компонентов СТС, чем при натурном эксперименте. Во многих случаях математический эксперимент над компонентом СТС позволяет существенно уменьшить количество его натуральных испытаний.

Выбор численного метода решения задачи. До появления ЭВМ нельзя было и думать о практическом использовании многих методов математики. Громадные возможности новых вычисли-

тельных методов (линейного программирования, статистического моделирования и др.) можно реализовать только благодаря применению компьютерной техники.

Нередки случаи, когда первоначальная модель оказывается настолько сложной, что не поддается исследованию имеющимися вычислительными методами. Тогда исследователю приходится проводить согласование модели с вычислительными возможностями, выбирая такие упрощения модели, при которых модель все же остается приемлемой для решения поставленной задачи и к тому же появляется возможность проведения вычислений. При этом обычно к модели подгоняется и вычислительный алгоритм.

Главное требование, предъявляемое к алгоритму решения задачи, сводится к обеспечению заданной точности вычислений при минимальных затратах машинного времени.

Для достижения этого требования алгоритм должен обладать тремя свойствами: массовостью, результативностью, детерминированностью. *Массовость* определяет пригодность алгоритма для решения достаточно широкого класса задач, возникающих при исследовании, а также при различных исходных данных, меняющихся в значительных пределах. *Результативность* – способность приводить к решению через конечное число шагов. Это свойство наиболее существенно для таких итерационных алгоритмов (например, решения уравнений или оптимизации), сходимость которых не обоснована теоретически. Исследователь должен быть уверен в том, что выбранный им алгоритм либо через определенное число шагов приведет к искомому результату, либо он остановится и даст исследователю исчерпывающие сведения о возникающей ситуации. *Детерминированность* – это свойство, которое определяет однозначность алгоритма. Например, применение алгоритма к одним и тем же исходным данным должно приводить

к одному и тому же результату. Если это не так, то скорее всего в алгоритме содержатся ошибки.

Исследователь должен установить разумную степень точности вычислений, имея в виду, что погрешность вычислений имеет несколько составляющих. Одна из них не зависит от ЭВМ. Это погрешность исходных данных для решения задачи (начальных и граничных условий уравнений, их коэффициентов и др.), которая не может быть устранена. Затем существует погрешность, которая возникает вследствие замены непрерывного описания модели и алгоритма дискретным описанием.

Наконец, сама ЭВМ является источником погрешностей, зависящих от структуры вычислительного процесса. Например, в ходе вычислений возникают погрешности в результате округления чисел. Иногда эти погрешности оказываются существенными.

Требуемая степень точности вычислений определяется поставленной задачей и погрешностью исходных данных. Стремление выйти за границы разумной степени точности будет сказываться на объеме вычислений и тем самым на времени, требуемом для реализации алгоритма. Если попытаться сделать получаемую при вычислениях погрешность весьма малой, то это может привести к недопустимому увеличению времени работы ЭВМ. Так как вычислительные методы вносят погрешность в результаты решения задачи и, следовательно, в математическое описание реальных процессов, то вычислительный алгоритм можно рассматривать как компонент исследуемой модели.

Программирование

Программа, как и модель, находящаяся в ее основе, содержит ряд ограничений. В то же время программа для ЭВМ может содержать больше допущений, чем сама модель, и это обстоятельство исследователь не должен упускать из вида.

Занимаясь программированием, программист вынужден ставить вопросы перед исследователем по существу задачи. Программист часто вскрывает упущения в разработке модели или требует внесения в нее ряда изменений, чтобы улучшить программу. При этом он тратит значительное время на попытку облегчить введение этих изменений в модель. В свою очередь исследователь уже после завершения работы над моделью вносит в нее изменения, которые требуют от программиста труда, непропорционального размерам этих изменений. В некоторых случаях возникает необходимость в коренной переработке программы.

На разработку программ часто требуются годы и труд больших коллективов. Такие программы не только очень дороги, но, что еще более важно, их трудно изменять. Большая трудоемкость разработки программ затрудняет процесс совершенствования модели. В таких сложных задачах модель и соответствующую ей программу целесообразно строить из модулей (блоков), которые могут по мере надобности заменяться более совершенными модулями.

Подготовка исходных данных

Подготовка исходных данных необходима для выбора постановки задачи и построения модели, проверки правильности модели и проведения после этого исследований на ЭВМ.

Прежде всего, должны быть установлены требования к точности используемых данных. Здесь следует учитывать следующие возможные обстоятельства. Назначение модели может не требовать высокой точности данных. Небольшое изменение входных данных может не влиять на результат исследования. Исходные данные могут иметь различную точность, и нет смысла устанавливать высокую точность одних данных при низкой точности других, не поддающихся уточнению.

Обычно модель оказывается чувствительной к одним данным и нечувствительной к другим. В этом случае можно сэкономить время и усилия, если подготовку данных провести в два этапа: сначала получить приближенные оценки, а затем, используя модель, выяснить, к каким входным данным она оказалась чувствительной, и провести более точную оценку соответствующих данных.

Одна из основных трудностей подготовки исходных данных для исследования СТС состоит в неопределенности многих характеристик СТС и внешней среды. О неточных и неполных знаниях принято говорить, как о неопределенности знаний.

Следует различать неопределенности в настоящем и будущем. Когда исследуется система в будущем, что обычно имеет место при проектировании СТС, количество неопределенных факторов существенно возрастает.

Пусть, например, рассматривается задача создания нового самолета. В настоящее время на создание самолета от начала разработки до сдачи в эксплуатацию уходит несколько лет. Все виды величин, которые известны для исследования операций эксплуатации самолетов в настоящем или ближайшем будущем, становятся неизвестными при проектировании самолета. Например, при решении вопроса, как лучше использовать наличный парк пассажирских самолетов, известны типы самолетов и их характеристики, количество самолетов различных типов, количество пассажирских мест в каждом самолете, задано расположение аэропортов с их характеристиками и т. д. Для исследования, целью которого будет рекомендация лучшего варианта самолета для эксплуатации, например, через 10 лет, упомянутые сведения не даются, они неизвестны и для процесса синтеза являются неопределенными величинами.

Преодоление неопределенностей является основной проблемой при подготовке исходных данных для исследования СТС. Можно указать следующие способы устранения неопределенностей исходных данных.

1. Самый естественный, очевидный и тривиальный способ состоит в поиске и подборе дополнительной информации.

2. Второй способ заключается в проведении специальных исследований, теоретических или экспериментальных, для изучения неопределенных факторов и явлений. Такие исследования проводятся по заказам проектировщиков специалистами в соответствующих областях науки, например, аэродинамиками, технологами, физиками, радиотехниками и т. д. Для исследований создаются экспериментальные стенды и установки, примеров таких можно привести множество. Однако могут быть такие СТС, для которых невозможно проведение экспериментов. Поэтому нужны также теоретические методы устранения неопределенностей и, в особенности, для неопределенностей в будущем.

3. Третий способ состоит в синтезе правдоподобных значений: неизвестных характеристик внешней среды по некоторому малому объему информации, имеющейся в распоряжении исследователя. Здесь имеется аналогия с известными методами оценивания с помощью фильтров параметров динамической системы по данным измерений.

4. Для раскрытия неопределенностей в будущем существуют и разрабатываются методы прогнозирования, по которым имеется обширная литература.

5. Для подготовки исходных данных в ситуации неопределенности применяются также методы экспертных оценок. Экспертные оценки используются не только для получения оценок неопределенных исходных данных, но и для получения недостающих данных.

4.4 Модели для различных этапов проектно-исследовательских работ

Основная цель проектно-исследовательских работ состоит в том, чтобы в заданный срок получить проект СТС, обладающей максимальной эффективностью при использовании ограниченных ресурсов на ее создание и эксплуатацию (или требующей минимальных затрат ресурсов для обеспечения заданной эффективности).

Проектирование начинается с установления необходимости создании новой СТС и заканчивается разработкой проектов элементов системы и испытаниями опытных образцов этих элементов. Широчайший круг охватываемых на этапах проектирования вопросов решается большим числом самых разнообразных специалистов, привлекающих различные методы и средства исследований. Большое разнообразие и объем работ требуют для их выполнения разумного распределения усилий между коллективами и специалистами различных профилей.

Основными особенностями системы проектно-исследовательских работ являются:

- 1) наличие единой цели для всех работ, которая состоит в обеспечении соответствия между структурой СТС и значениями основных ее параметров, с одной стороны, и задачами, возлагаемыми на проектируемую СТС, с другой;
- 2) иерархическая система работ и соответствующая им иерархия целей и задач работ;
- 3) иерархическая система методов и логико-математических моделей, используемых для исследования и проектирования СТС;
- 4) иерархическая система критериев эффективности, по которым принимаются те или иные технические или организационные решения;

5) иерархическая система способов представления результатов работ, в которой результаты предыдущего этапа служат исходными данными для последующего этапа.

Модели для этапа планирования систем

Первый (самый высокий) уровень иерархии проектно-исследовательских работ, который мы называем «планирование» систем, имеет целью разработку общих требований на вновь создаваемую СТС. На этом этапе решаются следующие задачи:

- устанавливается целесообразность создания новой СТС;
- формулируются назначение и задачи новой СТС;
- проводятся всесторонние оценки альтернативных вариантов основных решений, включая их экономическую оценку;
- определяются диапазоны (или ограничения) допустимых технических и организационных решений, а также решений экономического плана, в рамках которых должна в дальнейшем разрабатываться СТС.

Таковыми ограничениями являются, например, количество некоторых компонентов СТС, возможные условия применения СТС, допустимые затраты на создание новой СТС.

Для решения задач планирования СТС обычно применяются модели самого широкого охвата, включающие в себя системы различного назначения и, в том числе, планируемую СТС, а также модели экономических оценок, которые рассматривают совместно эффект от эксплуатации СТС и затраты на ее создание и эксплуатацию. По своему смыслу это, как правило, модели соответствующих операций на более высоких уровнях иерархии по сравнению с уровнем планируемой СТС.

Иерархическая система моделей для синтеза СТС

Для решения задач синтеза СТС необходима определенная совокупность логико-математических моделей различной степени широты и детализации. Задачи выбора предпочтительных структуры и параметров СТС могут быть успешно решены лишь на моделях, охватывающих всю СТС в целом, а задачи выбора основных параметров подсистем и элементов СТС могут и должны решаться на частных моделях, охватывающих те или иные совокупности элементов СТС. Так, в зависимости от задач исследования возникает иерархия моделей для синтеза СТС.

Для всех моделей характерным является вероятностный и игровой подход к исследуемым процессам и операциям. Игровой характер моделей становится все менее выраженным при движении вниз по ступеням иерархии (например, характеристики налета возможного противника все более детерминируются).

Это не означает, что модели низших уровней иерархии являются более простыми для их разработки и проведения проектно-исследовательских работ. Дело в том, что наряду с уменьшением масштабов рассматриваемых группировок происходит детализация моделей в двух направлениях:

- в направлении детализации структур и параметров подсистем и элементов;
- в направлении учета тех физических и технических ограничений, которые в моделях более высоких уровней не учитывались. В результате модели низших уровней иерархии зачастую являются более сложными, чем модели высших уровней.

Итак, на этапах проектно-исследовательских работ создается иерархическая система моделей, в которой соответствующие подсистемы и элементы операционной структуры СТС представлены своими определяющими параметрами.

Модели для проектирования элементов системы

Проект СТС служит основой для проведения последнего этапа проектно-исследовательских работ в области создания новой СТС. На этом этапе разрабатываются проекты подсистем и элементов СТС. Для краткости изложения все эти работы условимся называть просто проектированием элементов СТС.

Напомним, что проект СТС дает исходные данные для проектирования ее подсистем и элементов и содержит требования к структурам и параметрам подсистем и элементов, а также ограничения, накладываемые на них. В отличие от проектирования СТС на этапе проектирования элементов необходимо уже принимать конкретные проектировочные решения с учетом всех конкретных факторов и условий, влияющих более или менее заметно на функционирование элемента или подсистемы.

Различие физико-технической природы и методов проектирования подсистем и элементов СТС требует проведения их проектирования в специализированных организациях.

Системный подход на этапе проектирования элементов также необходим, как и на рассмотренных выше этапах проектирования СТС. Однако при проектировании элементов он имеет свою специфику, которая состоит в следующем. Как уже говорилось, проектирование элементов протекает в рамках технической структуры СТС по исходным данным, полученным при проектировании СТС. Проект СТС накладывает своего рода «ограничения» на параметры элементов технической структуры и предъявляет к ним свои требования. Эти требования и ограничения являются конкретным выражением того общего требования, чтобы элементы, функционируя в составе СТС, обеспечивали выполнение системой поставленных задач и достижение целей.

В состав моделей для проектирования элементов СТС, как и в случае проектирования СТС, должны входить модели операций.

Однако модели для проектирования элементов должны отличаться от моделей для проектирования СТС следующими факторами:

- меньшими масштабами рассматриваемых ситуаций и количествами охватываемых элементов («единичные» ситуации или операции малочисленных группировок элементов);
- большей детализацией свойств элементов и условий их функционирования, особенно в отношении учета различного рода физических и технических ограничений и многочисленных случайных возмущающих факторов.

Как видно, модели для проектирования элементов, достаточно полно, детально и точно описывающие свойства элементов СТС, условия их функционирования и особенности операций малочисленных группировок, являются по-своему более сложными по сравнению с моделями для проектирования СТС.

4.5 Имитационное моделирование при проведении проектно-исследовательских работ

Любой процесс исследования – всегда диалог: исследователь задает вопросы, на которые ищет ответы. Для диалога с природой исследователь проводит эксперименты или наблюдения. При теоретическом исследовании, он ведет диалог с математической моделью изучаемого явления, выполняя расчеты, чтобы найти ответы на поставленные вопросы. Синтез СТС выполняется путем многократных исследований ее математической модели. В результате исследователь получает знания, позволяющие ему найти предпочтительный вариант СТС. Эффективность этой работы зависит от многих факторов. Решающую роль играют способ взаимодействия исследователя с ЭВМ, наличие средств автоматизации исследования моделей СТС на ЭВМ, а также разработка математической модели СТС, позволяющей представить модель в компактной

форме и реализовать ее в виде конечных алгоритмов вычислений. Современная вычислительная техника предоставляет в распоряжение исследователя новый метод научного исследования, который называется *математическим экспериментом*.

Математический эксперимент

Математический эксперимент основывается на построении математических моделей для описания сложных реальных процессов и их воспроизведении с помощью программ моделирования на ЭВМ. Поэтому такой эксперимент называют также *вычислительным* или *машинным экспериментом*. Исследователь организует проведение таких расчетов, которые, заменив полностью или частично натурный эксперимент, позволили бы получить ответы на интересующие его вопросы.

Возникновение математического эксперимента стало возможным благодаря:

- появлению весьма быстродействующих ЭВМ с большим ресурсом памяти и развитым математическим обеспечением, работающих в режиме диалога;
- совершенствованию теории и практики программирования, появлению специальных языков моделирования сложных систем;
- разработке численных методов и алгоритмов решения математических задач;
- развитию методов построения математических моделей.

Математический эксперимент является одним из важных и эффективных методов теоретического исследования сложных комплексных проблем современной науки и техники и, в частности, проблем системотехники, в решении которых участвуют большие коллективы специалистов различного профиля и высокой квалификации, начиная от математиков и специалистов по вычислительной технике и кончая исследователями и проектировщиками

ми. В физике, например, математический эксперимент служит основой новой системы организации теоретических исследований, которая органически связывает математическую модель, вычислительный алгоритм, расчеты на ЭВМ и эксперимент.

Математический эксперимент может использоваться для изучения явлений, которые невозможно воспроизвести экспериментально, например, процесс входа космического аппарата в атмосферу Венеры или Марса. В подобных ситуациях исследователь имеет единственную возможность – создать достаточно совершенную математическую модель и с ее помощью путем вычислений получить необходимые характеристики изучаемого процесса. Такие исследования можно рассматривать как использование ЭВМ в качестве экспериментальной установки.

Для исследования СТС в целом математический эксперимент также оказывается единственным средством исследования весьма сложных процессов функционирования СТС, когда натурные испытания являются невозможными.

Каждый этап математического эксперимента отличается от другого содержанием работ. Однако на всех этапах имеет место взаимодействие исследователя с ЭВМ. Исследователю постоянно приходится учитывать возможности и особенности работы ЭВМ и на основании результатов вычислений и даже в процессе вычислений возвращаться к работам предыдущих этапов.

Имитационное моделирование как статистический эксперимент

При решении различных задач синтеза СТС широкое распространение получило *имитационное моделирование*. Так, будем называть исследование на ЭВМ, при котором конечные результаты работы СТС, например показатели эффективности, определяют путем воспроизведения (имитации) процесса ее функционирования.

ния. При этом обычно стремятся воспроизвести процесс функционирования СТС, настолько полно и детально учитывая реальные свойства СТС и условия ее функционирования, насколько это необходимо и достаточно для решения поставленной задачи.

При синтезе СТС с помощью имитационного моделирования решаются следующие задачи:

- изучения процесса функционирования синтезируемой СТС для проверки и обоснования принятых технических решений или для поиска новых технических решений;

- проверки результатов, полученных на более простых моделях, обоснования допущений, принятых в этих моделях;

- получения данных для разработки более простых моделей и, в частности, для построения регрессионной модели; выполнения расчетов для различных вариантов структуры и параметров СТС и характеристик внешней среды (*вариантных расчетов*) с целью получения рекомендаций по выбору предпочтительных параметров и структуры СТС; получения результатов, заменяющих полностью или частично, натурные испытания созданных образцов СТС или ее компонентов.

Как видно, пока еще не имеется четкой грани между понятиями «математический эксперимент» и «имитационное моделирование». В широком смысле слова все виды исследований на современной вычислительной системе можно трактовать как математический эксперимент, т. е. как эксперимент над математической моделью, и тогда имитационное моделирование будет одной из разновидностей математического эксперимента. В узком смысле слова, математический эксперимент – это исследование на ВС, заменяющее полностью или частично физический, химический, биологический, социологический и другие эксперименты, целью которого является изучение закономерностей природы и общества.

Поскольку всякий достаточно сложный процесс в реальном мире подчиняется статистическим закономерностям, имитационное моделирование учитывает различные случайные факторы (начальные условия, погрешности изготовления, возмущения и т.д.). Оно представляет собой развитие метода *статистических испытаний* (метода Монте-Карло, по аналогии с игрой в рулетку) для изучения случайных процессов, имеющих место в сложных практических задачах. Имитационное моделирование, подобно методу Монте-Карло, основано на использовании выборок для получения статистических оценок изучаемых величин. Этот принцип предопределяет следующую схему имитационного моделирования:

- разрабатывается модель, и составляется программа для осуществления одного испытания – одной реализации случайного процесса;
- случайные факторы описываются соответствующими распределениями вероятностей;
- разыгрываются реализации случайных факторов с помощью датчиков псевдослучайных чисел – подпрограмм, имеющих в составе математического обеспечения ВС;
- для разыгранных реализаций случайных факторов вычисляется реализация случайного процесса от его начального до конечного момента, т. е. осуществляется «прогон модели»;
- с целью получения выборок реализаций случайного процесса испытание (эксперимент, «прогон модели») многократно повторяется;
- с помощью методов математической статистики обрабатываются результаты испытаний и определяются статистические характеристики изучаемых величин.

Таким образом, имитационное моделирование СТС представляет собой *статистический эксперимент*, выполняемый на ВС,

отличительными особенностями которого являются достаточно подробное воспроизведение процесса функционирования СТС, подчиняющегося статистическим закономерностям, получение достаточно большого числа реализаций этого процесса и обработка с помощью методов математической статистики результатов моделирования.

Структура имитационной модели СТС и способ обработки результатов моделирования зависят от таких факторов, как стационарность и эргодичность процессов в изучаемой СТС, а также от того, в каком режиме – переходном или установившемся – требуется определить при моделировании показатели эффективности СТС. В том случае, когда процесс в СТС – стационарный и эргодичный, а искомыми являются показатели эффективности СТС в установившемся режиме ее функционирования, их можно рассчитать, обрабатывая статистически результаты моделирования одной достаточно длинной реализации процесса в СТС. При этом чтобы исключить влияние переходного процесса в СТС на результаты моделирования, их обработку следует начинать, отступив от начала моделирования на интервал, соответствующий предполагаемому времени переходного процесса. Если же процесс в изучаемой СТС – неэргодичный или нестационарный, или если эффективность СТС требуется оценить в переходном режиме, то имитационное моделирование должно предусматривать получение и обработку многих реализаций моделируемого процесса.

Во время обработки результатов моделирования возникают и другие вопросы, относящиеся к математической статистике. Такими вопросами, в частности, являются понижение дисперсий оценок показателей эффективности СТС при заданном числе полученных при моделировании реализаций, а также применение таких схем съема измерений при моделировании с использованием

эргодического свойства, с помощью которых достигается статистическая независимость измерений.

Затраты времени на имитационное моделирование могут быть сокращены, а проведенные испытания использованы наиболее эффективно, если при планировании вычислений руководствоваться не эвристическими соображениями исследователя, а привлекать методы оптимального планирования экспериментов.

Регрессионные модели

Эффективность СТС зависит от огромного числа параметров. Проводить оптимизацию СТС перебором всех возможных их значений не всегда представляется возможным, даже если ВС обладает сверхвысоким быстродействием. Поэтому возникает идея об использовании регрессионных моделей, построенных по результатам имитационного моделирования.

Регрессионной (или статистической) *моделью* системы называют регрессионную зависимость показателя эффективности системы от ее определяющих параметров. Регрессионная модель СТС, в отличие от имитационной, устанавливает наиболее компактно в явном виде зависимость показателя эффективности от параметров СТС в виде линейных или нелинейных алгебраических соотношений.

В качестве аргументов регрессионной модели берутся определяющие параметры СТС, которые могут меняться при синтезе СТС или изучении ее работы в различных возможных условиях. Часто бывает так, что при имитационном моделировании исследователь, стремясь построить возможно более точную модель, учитывает возможно большее число параметров, описывающих функционирование СТС. При этом степень влияния многих из них на показатель эффективности СТС ему заранее не известна. Поэтому среди учитываемых в имитационной модели параметров может

оказаться некоторое число таких, которые в рассматриваемых диапазонах их варьирования несущественно, с практической точки зрения, влияют на показатель эффективности. Такие параметры, выявленные при имитационном моделировании, могут быть исключены из рассмотрения в качестве аргументов регрессионной модели. Должны быть оставлены лишь те, которые в рассматриваемых диапазонах варьирования действительно заметно влияют на показатель эффективности. Выделение определяющих параметров с помощью имитационной модели может быть проведено с помощью методов математической статистики, в частности, дисперсионного анализа.

Построение регрессионной модели дает возможность решать различные задачи, возникающие при синтезе СТС, но при значительно меньших затратах вычислений на проведение расчетов.

При построении регрессионной модели СТС по результатам имитационного моделирования этой системы обычно пользуются *методом наименьших квадратов*.

При решении задачи в такой постановке требуется получить ответы на два вопроса: какова структура регрессионной модели и какие значения параметров модели данной структуры наилучшим образом согласуются с вектором измерений.

Обычно структурой регрессионной модели задаются, опираясь на априорный опыт, а затем после построения модели удостоверяются в правильности выбора структуры путем проверки адекватности модели. Обработка измерений методом наименьших квадратов выполняется наиболее просто, если регрессионная модель является линейной по искомым параметрам. Такая модель, линейная или квадратичная относительно аргументов, часто используется на практике. При использовании нелинейной по параметрам модели приходится минимизировать средний квадрат ошибки с помощью одного из методов нелинейного

программирования. Дополнительные трудности численного решения оптимизационной задачи в ряде случаев компенсируются существенным упрощением структуры модели и сокращением числа ее параметров.

4.6 Модели управляемых процессов

Система управления – это система, состоящая из управляющего устройства и объекта управления. Понятия «объект управления», «цель управления», «управляющие воздействия» взаимосвязаны и не могут быть определены отдельно друг от друга

Объект управления – объект (или система объектов), для которого необходимо достичь желаемых целей управления через выдаваемые на него управляющие воздействия.



Рис. 4.1. Схема управления

В результате декомпозиции сложная техническая система может быть представлена в виде совокупности связанных между собой простых систем, управление которыми необходимо рассмотреть, перед тем как перейти к рассмотрению управления сложными системами. При этом основные понятия теории управления справедливы для управления сложными системами. Классификацию управления сложными техническими системами можно проводить различным образом.

Во-первых, имеются виды управления по концепции его применения:

1. Координация – временное и логическое согласование процессов, протекающих в различных объектах, элементов сложного ОУ.

2. Управление – регулирование поддержание значений управляемых координат ОУ в требуемых или задаваемых пределах, отслеживание приходящих извне или вычисляемых в системе требований к значениям управляемых координат.

3. Стабилизация – поддержание постоянных значений требуемых координат ОУ.

4. Терминальное управление – перевод ОУ в процессе управления из-за данного начального состояния координат в заданное конечное состояние координат за заданное время.

Во-вторых, управление можно классифицировать на прямое управление и управление с отрицательной обратной связью. В разомкнутой системе управления без отрицательной обратной связи фактические состояния ОУ (выходные координаты ОУ) не известны и используется априорная или расчетная информация о состоянии ОУ. Измерения выходных координат не проводятся.

Прямое управление ведется с большими некомпенсированными ошибками от воздействий возмущений и неточности знания характеристик УУ и ОУ системы. Схема приведена на рис. 4.2, а.

В случае управления с отрицательной обратной связью проводятся измерения действительного значения управляемых координат ОУ (всех или части), которые сравниваются с желаемыми значениями. Разница используется для управления координатами ОУ с целью устранения этой разницы (см. рис. 4.2, б).

Принцип управления с отрицательной обратной связью является фундаментальным принципом теории управления не только для технических систем. По этому принципу осуществляется регу-

ляция в разнообразных живых организмах. Социальные и экономические системы также используют этот принцип.

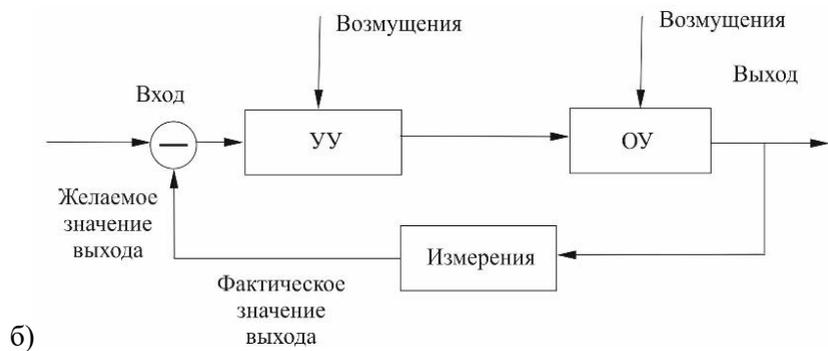


Рис. 4.2. Схема разомкнутого управления (а) и схема управления с отрицательной обратной связью (б)

Управление, при котором текущее управляющее воздействие вырабатывается с учетом измеренного фактического состояния ОУ, обусловленного предыдущим управлением, называется управлением с обратной связью.

Можно попробовать измерять действующие на систему возмущения, например, изменения напряжения в сети, и учитывать их в разомкнутом управлении (рис. 4.3).

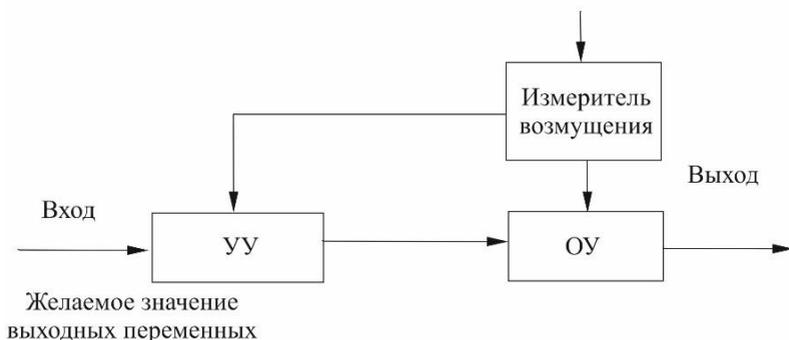


Рис. 4.3. Управление в разомкнутой схеме по возмущению

Измерив возмущения, возможно в УУ рассчитать компенсирующие управляющие воздействия. Но здесь отсутствует обратная связь по выходной переменной, и выходная переменная по-прежнему не измеряется.

Компенсация случайных и систематических погрешностей измерения возмущений в УУ позволяет только частично и временно повысить точность управления. Неполная компенсация множества действующих возмущений, часть из которых может быть даже неизвестна, приводит к большим ошибкам в поведении управляемой координаты.

Комбинированное управление одновременно по отклонению (управление с отрицательной обратной связью) и по возмущению также часто применяется при управлении сложными техническими системами.

5 МЕТОДЫ УЧЕТА НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ ФАКТОРОВ ПРИ СИНТЕЗЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

5.1 Применение байесовского подхода при выработке рекомендаций

В прикладной математике и исследовании операций имеется развитый математический аппарат теории принятия решений. Под принятием решений в этих дисциплинах понимают выбор одной из ряда возможных альтернатив путем формальных процедур. Эти процедуры могут быть использованы исследователем при выработке рекомендаций для проектировщика, принимающего проекторочные решения, с учетом этих рекомендаций ж некоторых неформальных факторов. Примером подобных ситуаций могут служить решения о структуре и параметрах проектируемой СТС в условиях неопределенности состояния внешней среды.

В качестве примера можно рассмотреть задачу синтеза космической системы исследования природных ресурсов Земли с учетом того, что наблюдения за поверхностью Земли происходят на фоне облачности. Облачность – случайный фактор, характеризующий Состояние внешней среды. С учетом этого фактора должны приниматься решения об орбитальной структуре КС исследования природных ресурсов, о составе и параметрах аппаратуры, программе съемки и т. п.

Для раскрытия (преодоления) такой неопределенности весьма эффективным оказывается байесовский подход (назван именем английского математика Томаса Байеса, который развил теорию решения статистических задач). Характерной особенностью байесовского подхода является постулат о существовании так называемого априорного распределения вероятности исследуемого фактора (например, облачности). Одним из главных аргументов

в пользу байесовского подхода служит возможность объединять в ходе процедуры принятия решения имеющиеся априорные сведения об исследуемом случайном (неопределенном) факторе с данными эксперимента (наблюдения). Это объединение реализуется в виде пересчета априорного распределения исследуемого фактора в апостериорное, которое возникает при использовании наблюдений.

Формальные процедуры принятия решения в условиях риска и неопределенности имеют ряд характерных особенностей, из которых главными являются приведенные ниже.

1. Всякое решение выбирается из ряда возможных и приводит к некоторым последствиям, по которым и должно оцениваться качество этого решения.

2. Решение принимается на основе доступной к моменту его принятия информации двоякого рода. Одна ее часть обобщает предыдущий опыт и представляет собой совокупность априорных сведений, другая часть – результаты эксперимента (наблюдения).

3. Вследствие того, что вся доступная информация имеет статистическую природу, процедура принятия решения исключает возможность однозначно предсказать последствия того или иного решения.

4. Процедура принятия решения не обязательно должна быть детерминированной, т. е. выбор решения из возможных не обязательно должен быть однозначным. Он может допускать элементы, случайности.

Говорят, что решение принимается в ситуации **риска**, если информация о параметрах внешней среды носит статистический характер, причем известны соответствующие законы распределения.

Если подобная информация отсутствует, а известны лишь области значений, которым принадлежат параметры внешней сре-

ды, то говорят, что решение принимается в **условиях неопределенности**.

Эти ситуации на практике неразделимы и, более того, одна из них, а именно **ситуация неопределенности**, может быть сведена к ситуации **риска** путем введения так называемых субъективных вероятностей.

Рассмотрим вначале особенности принятия решений на основе лишь априорных сведений в ситуациях, которые можно охарактеризовать с помощью задания распределений вероятности, т. е, ситуаций риска. При этом, как правило, задание исследователем всех вероятностей, определяющих информационную ситуацию, в высшей степени субъективно и отражает его собственные информацию и мнение. В дальнейшем подобные вероятности именуется субъективными. Тем не менее, введение подобных вероятностей подчиняется определенной схеме, в основу которой может быть положено, в частности, понятие так называемого **относительного правдоподобия** событий.

Поясним сказанное подробнее. Использование байесовской процедуры принятия решения в ситуации риска на основе лишь априорного распределения предполагает, во-первых, наличие априорного распределения исследуемого фактора и, во-вторых, наличие так называемой функции потерь, характеризующей «доход» или «потери» от принимаемого решения. Оптимальным считается решение, которое минимизирует средние «потери» (именуемые риском) или, что то же самое, максимизирует средний «доход» Усреднение потерь происходит на основе упомянутого выше априорного распределения вероятностей. При этом риск всякой решающей байесовской процедуры оказывается числом, а не функцией от неизвестного (неопределенного) фактора. Как правило, неопределенный фактор при байесовском подходе

параметризуется, т. е. риск есть число при фиксированном значении неопределенного фактора.

В конкретных ситуациях априорное распределение приходится назначать, используя, в частности, уже упоминавшееся понятие относительного правдоподобия событий, заключающееся в том, что исследователь априори может сказать, какое из любых двух случайных событий из их полного числа более правдоподобно. По существу, это проблема назначения вероятностей. При этом практически никогда не удастся исключить субъективизма, приводящего к наличию систематических ошибок при назначении априорных вероятностей. Причины этих ошибок достаточно хорошо изучены и классифицируются следующим образом:

1. **Ошибки при суждении по представительности.** Априорная вероятность данного события назначается в зависимости от схожести данного события на другое, вероятность которого известна. Применительно к рассматриваемому примеру это будет означать, что априорную вероятность реализации той или иной балльности облаков в данном районе мы будем назначать, опираясь на информацию об аналогичном явлении, т. е. на информацию о балльности облаков в другом районе на той же широте и в то же время года и т. д.

2. **Ошибки при суждении по встречаемости.** Априорная вероятность данного события назначается в зависимости от того, как часто мы сами сталкиваемся с этими событиями. Применительно к балльности облаков в данном районе в данное время года, это означает просто использование собственного (личного) опыта.

3. **Ошибки при суждении по точке отсчета.** При назначении априорных вероятностей может быть использована как точка отсчета некоторая начальная информация, например, собранные кем-либо сведения о балльности облаков в данном районе в данное время года.

4. *Сверхдоверие*, т. е. чрезмерное доверие к своим суждениям, когда это касается вероятности редких явлений, например, доверие к вероятности балльности облаков, резко отличающейся от наиболее вероятной в данное время года.

5. *Стремление к исключению риска*. Поскольку назначение той или иной априорной вероятности значения балльности облаков приводит в конце концов к какому-то проектировочному решению относительно разрабатываемой СТС, то назначаются вероятности, которые приводят к уменьшению риска, т. е. такие априорные вероятности, которые не приводят к ситуациям, где, хотя бы при очень малых вероятностях, возникают большие потери.

Ниже речь пойдет о таких формальных процедурах принятия решений, когда оптимальным считается решение, минимизирующее не средний риск, а так называемый апостериорный риск, вычисленный при заданной функции потерь относительно апостериорного распределения неопределенного фактора. Таким образом, эксперимент (наблюдение) в данной ситуации используется для пересчета в соответствии с формулой Байеса априорного распределения неопределенного фактора (параметра) в апостериорное.

В качестве эксперимента могут рассматриваться самые различные способы получения данных, а также любая доступная дополнительная информация: экспертные оценки, результаты непосредственных наблюдений данного фактора, лабораторных экспериментов, имитационного моделирования.

Остановимся теперь кратко на формальных способах преодоления априорной неопределенности. Желание избавиться от влияния всякого рода субъективных факторов при назначении априорного распределения является естественным.

Выходом в подобной ситуации является **минимаксный подход**, результатом применения которого будет решение, дающее гарантированные потери или ущерб, т. е. потери не больше некоторого, заранее известного значения.

Практический путь нахождения подобного решения с использованием хорошо разработанного аппарата байесовских решений дает так называемая **теорема Вальда**, суть утверждения которой сводится к тому, что для выпуклых по своим аргументам функций потерь минимаксное решение находится как байесовское, вычисленное относительно так называемого **наиболее неблагоприятного априорного распределения неопределенного фактора**. Это наиболее неблагоприятное априорное распределение находится в результате максимизации среднего или апостериорного риска по всем возможным априорным распределениям в заданном классе распределений. Признак того, что данное априорное распределение является наиболее неблагоприятным, состоит в независимости условного риска от принятого решения на всем множестве значений неопределенного фактора.

Степень априорной неопределенности может быть различной. В частности, встречаются случаи полной априорной неопределенности, когда неизвестны ни виды, ни параметры законов распределения вероятностей для неопределенных факторов, относительно которых принимается решение.

В ряде случаев может быть неизвестной зависимость потерь от наблюдений, неизвестных параметров и решений. Тогда, помимо использования минимаксных решений, вместо неизвестных априорных распределений и функциональных зависимостей, могут быть заданы эмпирические данные о параметрах, принятых в прошлом решениях и возникающих при этом потерях. Такие данные иногда называют обучающими.

Степень априорной неопределенности может быть уменьшена. Как правило, в конкретных задачах можно задать зависимость потерь от решений, параметров, характеризующих внешнюю среду, и результатов эксперимента. Для соответствующих законов распределения при этом по-прежнему можно воспользоваться эмпирическими данными.

5.2 Основные типы задач, решаемых при проектировании СТС

Задачи, решаемые при проектировании и исследовании сложных технических систем различного назначения, можно свести к следующим основным типам: анализ, оптимизация, синтез, адаптация.

Анализ состоит в определении отклика объекта управления при его выбранной структуре, фиксированных параметрах на любое физически возможное детерминированное или случайное внешнее воздействие.

Оптимизация. Со словом «оптимизация» связана и другая проблема в теории автоматического управления – оптимальное управление, предусматривающее поиск наилучшего в определенном смысле способа управления динамическим процессом. Решение задач оптимизации связано с выбором критерия оптимальности. При изменении критерия решение задачи оптимизации может измениться кардинально. Поэтому следует учитывать, что решение оптимальным вообще не бывает – оно оптимально применительно к какому-то критерию. Например, следует найти закон управления, переводящий систему из одного заданного состояния в другое за минимальное время или с минимальным расходом энергии. Это будут два совершенно различных закона управления.

Методы оптимизации реальных задач в сложных технических системах связаны со многими критериями оптимальности. Такие задачи называются многокритериальными. Найти решение, одновременно удовлетворяющее этим критериям в общем случае, невозможно. Решение, обращающее в максимум один какой-либо критерий, не обращает в максимум или минимум другие, и решение задачи по каждому из выбранных критериев получается своим. Выражение типа «получить максимальное значение функции

полезности при минимальной стоимости», строго говоря, неверно. Правильно в данном случае сказать:

«Получить максимальное значение функции полезности при заданных значениях стоимости». То есть экстремум ищется только по одному критерию, а остальные критерии – заданные ограничения. Существует несколько подходов к решению многокритериальных задач. В частности, часто сводят многокритериальную задачу к однокритериальной, составляя некую функцию от всех критериев, рассматривая ее как обобщенный критерий.

Нередко в виде такого обобщенного критерия выступает взвешенная сумма из всех критериев многокритериальной задачи.

Однако в данном случае устранение произвола в выборе критерия только кажущееся, так как этот произвол переносится на выбор веса каждого из критериев, с которым он входит в суммарный обобщенный критерий.

В настоящее время получили распространение Парето – оптимальные решения многокритериальных задач, которые нельзя улучшить одновременно по всем оптимизируемым критериям. Решение задачи Парето оптимально, если значение любого из заданных критериев можно улучшить только за счет ухудшения хотя бы одного из других.

Параметрическая оптимизация. Состоит в определении таких параметров системы при ее неизменной структуре, при которой одна или несколько характеристик имеют наилучшие (максимальные или минимальные) значения. Данная задача почти всегда сводится к поиску минимума функции цели как разности между двумя функциями, одна из которых описывает требуемую характеристику, а другая – фактически полученную при выбранной комбинации параметров системы.

Синтез. Заключается в определении структуры системы, значений параметров, при которых она наилучшим образом соответ-

ствуется выбранному критерию или выбранным критериям. Параметрическая оптимизация, сопровождаемая поиском подходящей структуры системы, практически определяет задачу синтеза системы управления.

Адаптация. Заключается в придании системе управления свойства рассчитывать и определять новые значения своих параметров или менять структуру при изменении условий работы или недостаточно полно определенных характеристик объектов управления. Задача адаптации рассматривается и реализуется в процессе функционирования системы. Для ее решения в современных системах автоматизации и управления основным техническим средством обработки информации, выполнения научно-технических расчетов, вычисления задающих и управляющих воздействий является встроенная в систему ЦВМ или сеть встроенных в систему ЦВМ.

В системах компьютерного управления сложными техническими системами сравнительно легко вносятся новые стратегии управления, поскольку можно легко изменять характер их функционирования без переоснащения и перепроектирования всей системы, полностью изменив образ действий того же самого компьютера, заменив ему программное обеспечение.

Именно эти возможности, наряду с возможностями обработки информации в системе по сложным и эффективным алгоритмам, предопределили бурный рост компьютерных технологий в управлении сложными техническими системами.

Безопасность как свойство СТС обеспечивается в рамках широко употребляемого понятия управления в нештатных ситуациях. Нештатная ситуация – сочетание условий и обстоятельств при эксплуатации сложных технических систем, отличающихся от предусмотренных для нормального функционирования и ведущих к возникновению аварийных и опасных состояний.

Управление работой в нештатных ситуациях является неотъемлемой частью управления сложными техническими системами. Методы выявления ошибок в функционировании системы и отказов ее оборудования должны выявлять эти проблемы как можно раньше, после чего необходимо оперативно предпринимать корректирующие воздействия.

Диапазон подходов к решению этой проблемы очень велик, от придания системе и программному обеспечению (ПО) свойств отказоустойчивости до организованного прекращения функционирования системы путем «мягкого ее останова» с организованным переводом в запасное устойчивое состояние, если его можно найти, либо в исходное состояние «финального останова» с минимизацией ущерба для окружающей среды, если такого запасного устойчивого состояния найти не удается.

Где-то в промежутке между ними находятся подходы с продолжением функционирования системы с ухудшением его качества в той или иной мере (это и есть тот ущерб, который несет система вследствие проявившейся ошибки). Эти средства «аварийной защиты» выделяются в отдельную подсистему с аналогичным названием, ядро которой составляют специальные фрагменты программного обеспечения, повышенной надежности и отлаженности.

5.3 Разновидности неопределенностей, устранение и учет

О неточных (неполных) знаниях принято говорить как о неопределенности знаний или, короче, как о *неопределенности*. Одна из основных трудностей при построении моделей состоит в неопределенности многих характеристик системы и внешней среды.

Так, для создателей КА, спускаемых на Луну, Венеру и Марс, в свое время были неизвестны характеристики грунта Луны, Марса и Венеры и характеристики атмосферы планет. При создании систем вооружения обычно недостаточно известны характеристики аналогичных систем противника.

Следует различать неопределенности в настоящем и будущем. Когда исследуется система, призванная функционировать в будущем, что обычно имеет место при проектировании системы, количество неопределенных факторов существенно возрастает из-за развития во времени внешней среды и технических средств, используемых при создании системы.

В зависимости от полноты сведений о рассматриваемом параметре различают пять ситуаций описания параметра:

- определенность, когда параметр задается числом;
- риск – параметр описывается законом распределения плотности вероятностей или функцией распределения;
- неопределенность интервальная – параметр описывается диапазоном его возможных значений;
- неопределенность диапазона параметра – известно только, что параметр существует;
- неосведомленность – неизвестно, имеет ли место какой-либо фактор в изучаемой действительности.

Первая ситуация тривиальна. Во второй исследования с помощью методов теории вероятностей дают результаты, удовлетворяющие практику. В третьем и четвертом случаях, чтобы избежать ошибок, необходимо устранить неопределенность исходных данных и, если это не удастся, применить специальные теоретические и эмпирические методы исследований и принятия решений с учетом неопределенности. Пятая ситуация является источником ошибок исследования.

Основной проблемой при подготовке исходных данных для исследования системы является устранение неопределенностей. Можно указать следующие пути устранения неопределенностей параметров системы и среды, не считая такого тривиального способа, как поиск, сбор и обработка дополнительной информации:

1. Проведение специальных исследований (теоретических или экспериментальных) для изучения неопределенных факторов и явлений. Такие исследования проводятся по заказам проектировщиков специалистами в соответствующих областях науки. Для исследований, как правило, создаются экспериментальные стенды и установки. Однако могут существовать такие системы, для которых невозможно проведение экспериментов. Поэтому нужны теоретические методы устранения неопределенностей исходных данных и особенно неопределенностей в будущем.

2. Синтез правдоподобных значений неизвестных характеристик внешней среды по некоторому малому объему информации, которым располагает исследователь. Здесь имеет место аналогия с известными методами оценивания с помощью фильтрации параметров динамической системы по данным измерений.

3. Использование для устранения неопределенностей в будущем методов научно-технического прогнозирования.

4. Применение методов экспертных оценок. Экспертные оценки используют для получения не только оценок неопределенных параметров, но и недостающих данных.

На практике при учете неопределенностей чаще всего используют вычисления для различных вариантов возможных значений параметров системы и среды и выбирают наихудший вариант значений параметров.

Для ситуации интервальной неопределенности разработаны минимаксные методы оптимизации и предложены для принятия рекомендаций критерии Вальда, Лапласа, Сэвиджа и Гурвица.

Эти методы базируются на том, что причиной неопределенностей является «природа», которая не стремится причинить вред человеку, использующему систему для достижения своей цели.

Встречаются ситуации, когда источником неопределенностей выступает разумный противник, интересы которого противоречат интересам лица, разрабатывающего систему. В этом случае может использоваться теория игр, которая предлагает модели и методы оптимизации для большого числа разнообразных конфликтных ситуаций.

Если модели, предлагаемые теорией, не являются адекватными рассматриваемой задаче, исследователем могут быть разработаны специальные модели, учитывающие неопределенности системы внешней среды. Для этого вводят гипотезы и допущения, учитывающие неопределенности.

Для построения модели, предусматривающей неопределенность будущего, разрабатываются сценарии возможного, предполагаемого, ожидаемого функционирования системы.

Одним из перспективных направлений учета неопределенностей является реализация адаптивных проектных решений. Выбор таких решений предусматривает возможность изменения параметров адаптивных компонентов системы в зависимости от конкретных ситуаций во внешней среде.

При преодолении трудностей в построении модели, обусловленных недостаточностью знаний о внешней среде и будущей системе, следует руководствоваться следующим принципом: ошибки в построении модели не должны быть существенными, несмотря на то, что модель основана на предположениях и суждениях, которые либо никогда не будут подтверждены, либо в лучшем случае будут проверены в процессе эксплуатации уже созданной системы.

При подготовке исходных данных исследователю необходимо оценить их достоверность, выяснить границы применения, устано-

вить требования к точности исходных данных и оценить соответствие точности этим требованиям.

Точность исходных данных (т.е. входов модели – определяющих параметров) должна быть такой, которая требуется для установления влияния определяющих параметров системы и среды на решение задач, например, на значения критериев при синтезе или на показатели свойств системы при анализе.

Требуемая точность исходных данных может быть различной в зависимости от роли определяющего параметра в модели, т.е. от степени его влияния на решение задачи. Точность может быть понижена, если назначение модели не предусматривает высокой точности данных, если снижение точности не влияет на результат исследования, если исходные данные имеют различную точность и нет смысла устанавливать высокую точность одних данных при низкой точности других, не поддающихся уточнению. Достоверность и точность исходных данных имеют большое значение для получения достоверных результатов моделирования.

5.4 Модели слабоструктурированных систем

Системы окружающего нас реального мира (природа) и искусственные системы (например, технические объекты) подчиняются физическим законам. Структурные связи в этих системах реализуются потоками преобразуемых или превращаемых веществ, энергии, информации. Такие потоки определенным образом объединяют и связывают элементы системы и, соответственно, их физические операции.

Системы, в которых связи являются объективными и которые подчиняются физическим законам, называются *хорошо структурированными*.

Например, хорошо структурированы технические системы. Модели хорошо структурированных систем в принципе могут быть построены достоверно отражающими реальную систему, хотя задача построения достоверных моделей может быть очень трудной.

Достоверность моделей хорошо структурированных систем подтверждается совпадением результатов при повторяющихся экспериментах. Если в хорошо структурированной системе существенные зависимости выяснены так, что могут быть описаны количественно (математически), то соответствующие задачи называются хорошо структурированными или хорошо формализованными.

Итак, хорошо структурированная система в принципе допускает строгое математическое описание и хорошо структурированную задачу. Возможны, однако, случаи, когда исследователю не удастся описать математически хорошо структурированную систему. Например, полученное описание (модель) системы содержит: а) как количественные, так и качественные связи, или б) неопределенные факторы (с неточными сведениями о них), или в) исследователю не удалось описать всю совокупность связей между компонентами (параметрами) системы. Тогда соответствующие задачи называются *слабоструктурированными* (по субъективной причине).

Существуют объективно и слабоструктурированные системы: например, системы, включающие коллективы людей.

Для многих систем, включающих людей, возможно отсутствие четких структурных связей, а также повторяемости при повторных экспериментах, если таковые возможны. У таких систем в отличие от природных и искусственных имеется *свобода поведения*.

Например, строились модели распределения однородного ресурса, производимого в различных точках страны, между различными потребителями. При попытках практического использования этих моделей обнаруживалось, что участники операции вели себя неожиданным для исследователя образом: потребители часто корректировали свои заявки, поставщики направляли продукцию в отдаленные районы и т.д. Каждый из них, возможно, вел себя рационально, но в целом модель оказывалась неадекватной реальности.

Существуют системы, в которых отсутствуют объективные связи между компонентами системы и имеются неопределенные связи между людьми с их свободой поведения. Это делает систему слабоструктурированной, а соответствующие задачи – слабоструктурированными.

Слабоструктурированными оказываются модели экономики. Поэтому возможности применения математики в экономике ограничены: невозможность проведения повторяющихся экспериментов и присутствие личного фактора – свободы поведения – делают экономические науки отличными от точных наук.

Построены и существуют многочисленные модели систем, включающих коллективы людей (например, макромоделли рыночной экономики).

В основе этих моделей лежат гипотезы о подчинении экономических систем физическим законам, объективности связей в системах и отсутствия «свободы поведения». Эти гипотезы вносят элементы субъективности в модель, считающуюся объективной.

Там, где это возможно, необходимо на основании субъективных суждений строить модели слабоструктурированных экономических систем. Иногда такие модели являются единственным средством рационального решения экономической задачи.

Опасны модели со многими спрятанными в них субъективными предположениями и догадками, когда они выдаются за объективные. Эти псевдообъективные модели часто начинают жить собственной жизнью, и именно они являются причинами неудач при попытках использовать модели для решения на практике экономических проблем.

Исключением является макро модель рыночной экономики, разработанная академиком В. Леонтьевым (Россия – США). Она основана на положении, что экономика каждой страны – это большая система, в которой много разных отраслей хозяйства (компонентов), каждая из них производит продукцию и услуги и передает их другим отраслям. Каждый компонент системы может существовать только потому, что получает что-то от других и отдает что-то другим.

На количественном учете этих взаимосвязей основан метод Леонтьева, так называемый метод «затраты-выпуск». Леонтьев строит таблицы структуры экономики: откуда и куда передаются продукция и услуги. Этим методом в США изучают 600 – 700 отраслей промышленности и торговли, а в Японии – до 2000.

5.5 Задачи и организация коллективных экспертных оценок

В разных областях человеческой деятельности часто прибегают к услугам экспертов, чтобы использовать их интеллект для решения различных слабоструктурированных задач, для ответов на вопросы. Сложность проблемы, ограниченные возможности одного человека и субъективность его оценок вынуждают использовать коллективные оценки.

Для решения непростых вопросов, возникающих при исследовании практических задач, системный анализ рекомендует использовать коллективные экспертные оценки в следующих задачах:

- оценка затрат ресурсов на создание и функционирование системы;
- поддержка принятия решения руководителем: выявление неучтенных информации и факторов, а также ограничений и непредвиденных обстоятельств;
- выбор коэффициентов важности в целевой функции;
- исследование связей земных процессов (физических, химических, биологических) с солнечной активностью;
- оценка физиологического воздействия на людей электромагнитного поля КСС на низких орбитах;
- участие в разработке исследователем адекватной модели;
- получение оценок неопределенных параметров в настоящем и будущем;
- получение недостающих исходных данных;
- оценка моделей слабоструктурированных систем со свободой поведения;
- количественная оценка качественных показателей;
- формирование альтернатив.

Особенность интеллектуальной деятельности людей состоит в том, что она во многом зависит от внешних и внутренних условий. Поэтому для организации коллективной творческой работы экспертов специальное внимание уделяется устранению внутренних (психологических) факторов, неблагоприятно влияющих на работу. К ним относятся:

- неправильное восприятие действительности (воспринимаем то, чего нет, или не воспринимаем то, что есть);

– интеллектуальные преграды: инерционность мышления, давление стереотипов, подсознательные самоограничения, связанные с убеждениями и т.д.;

– эмоциональные преграды: излишнее увлечение критикой или боязнь критики, опасения отрицательной реакции заказчика или начальника, субъективное отношение к «любимым» типам альтернатив.

Для подготовки к экспертизе необходимо провести психологическую настройку экспертов, преодолевающую вышеуказанные психологические преграды.

Внешние факторы, оказывающие большое влияние на творческие процессы:

- физические условия: погода, шумы;
- общественные условия: культурный уровень изучаемой среды, её идейная атмосфера и т.д.

Психологические факторы, влияющие на работу эксперта:

– ответственность. Она накладывает психологические ограничения на оценки, а этого желательно избегать. Эксперт должен быть освобожден от ответственности за использование результатов экспертизы;

– личная заинтересованность эксперта, его необъективность, самолюбие и другие качества.

Оценка эксперта может зависеть от межличностных отношений с другими экспертами.

Взаимодействие между экспертами может как стимулировать, так и подавлять их деятельность. Поэтому используются методики коллективных экспертиз, имеющие различную степень взаимного влияния экспертов друг на друга:

- анонимные опросы и анкетирование;
- открытые опросы;

- совещания (комиссии, комитеты, коллегии, штабы);
- дискуссии (суды, ученые советы, консилиумы) и др.

Анонимные опросы полезны потому, что оценка эксперта может зависеть от того, известна ли его оценка другим экспертам, При анонимности самолюбие экспертов не проявляется, и на экспертизу не влияют межличностные отношения.

После проведения опроса происходит обработка информации, ее анализ и формулирование рекомендаций для принятия решения руководителем.

5.6 Формализация информации с помощью балльных шкал

Задача коллективной оценки показателей возникает, когда для принятия решения необходимо учитывать качественные показатели наряду с обычными количественными. Задача состоит в том, чтобы качественный показатель представить числом. Это число, естественно, должно возрастать при улучшении качественного показателя и обращаться в нуль, если показатель имеет очень низкое качество.

Чтобы численное представление качественного показателя не было слишком субъективным, целесообразно использовать коллективные экспертные оценки.

Человек не способен непосредственно оценивать числом качественное свойство объекта. Он может различать отношения качественных свойств типа «лучше – хуже». На помощь приходит способность человека определять в некотором диапазоне степени качественных различий (например, немного лучше, много лучше, значительно лучше).

На этой способности человека построены *балльные шкалы*. Возможных балльных шкал много. Наиболее предпочтительная из них – девятиуровневая с интервалами между уровнями, равными единице. Есть некоторые соображения в пользу этой шкалы.

1. Она должна иметь конечной диапазон, поскольку использование шкалы в диапазоне от нуля до бесконечности может оказаться бесполезным. Способность человека различать находится в весьма ограниченном диапазоне, и когда имеется значительная несоразмерность (от нуля до бесконечности) между сравниваемыми объектами, суждения человека тяготеют к тому, чтобы быть произвольными, и обычно оказываются далекими от действительности.

2. Качественные различия обладают «элементом количества», когда эти различия одного порядка и близки друг к другу.

3. Способность человека выполнять качественные разграничения выражается тремя или пятью ступенями:

а) три ступни: неприятие, безразличие, принятие, т.е. низкая, средняя (умеренная), высокая оценки;

б) пять ступеней: очень плохая, плохая, посредственная, хорошая, очень хорошая оценки, т.е. равенство, слабое, сильное, очень сильное, абсолютное превосходство.

4. Для более детальной оценки каждую из трех ступеней можно разделить на три: низкую, умеренную, высокую степени. Получается девять оттенков качества. Дополнительно к пяти ступеням можно принять четыре промежуточных ступени между соседними. Получается также девять ступеней различий.

Для оценки по 9-балльной шкале сравнивается пара объектов. Получается шкала для парных сравнений. За основу берется показатель с наиболее низким качеством. Получаем 9-уровневую шкалу парных сравнений:

1 – равенство: одинаковая значимость двух показателей;

3 – слабое превосходство: некоторое преобладание качества одного показателя перед другим;

5 – сильное превосходство: сильное превосходство по качеству;

7 – значительное превосходство: очень сильное или очевидное преимущество одного из показателей;

9 – абсолютное превосходство: превосходство одного из показателей не вызывает никаких сомнений.

Баллы 2, 4, 6, 8 – промежуточные значения.

Эта шкала является достаточно простой и хорошо подтверждается практикой. Но имеются также и более простые шкалы:

3-балльная шкала:

- 1 – равенство;
- 2 – слабое и сильное превосходство;
- 3 – значительное и абсолютное превосходство;

5-балльная шкала:

- 1 – равенство;
- 2 – слабое превосходство;
- 3 – сильное превосходство;
- 4 – значительное превосходство;
- 5 – абсолютное превосходство.

Эти шкалы являются такими же, как и 9-балльная шкала, но без промежуточных значений.

5.7 Формирование альтернатив

Формирование альтернатив является наиболее трудным и творческим этапом синтеза системы. Если в множество альтернатив не включена действительно наилучшая, то никакие методы отбора её «не найдут». Чем больше предложено альтернатив, тем выше вероятность наилучшего решения задачи синтеза.

Процесс формирования альтернатив является неформальным. Здесь проявляются творчество, талант, умение обобщать преды-

дущий опыт. Поэтому все рекомендации, как формировать новые альтернативы, есть результат коллективного опыта по решению творческих задач и являются, по существу, эмпирическими правилами.

При формировании альтернатив надо ориентироваться на модель цели системы, описываемую функциональными требованиями. Она определяет, в каком направлении следует формировать альтернативы, чтобы выбрать затем несколько самых предпочтительных.

Генерировано возможно большего числа альтернатив. Для генерирования альтернатив исследователь может использовать собственные знания, а также искать альтернативы в книгах, журналах, энциклопедиях, справочниках, каталогах выставок и товаров, описаниях патентов и изобретений, рекламных проспектах, в отчетах по НИР и ОКР. На основе найденных альтернатив исследователь может их комбинировать и модифицировать. Для генерирования альтернатив исследователю целесообразно привлечь квалифицированных экспертов, а также организовать коллективные экспертные оценки.

Сокращение числа альтернатив. Если стремиться получить как можно больше альтернатив, то для некоторых задач их количество может достигнуть многих десятков. В таких случаях следует провести грубое отсеивание, проверяя их на присутствие качеств, нежелательных для любой альтернативы. В первую очередь, следует отсеять заведомо непригодные по основным критериям: эффективности, надежности, затратам ресурсов, срокам реализации. Отсев не следует проводить слишком жестко.

Вместе с тем можно не отсеивать, а отбирать альтернативы с «хорошими» признаками, например, такими как адаптивность при изменении условий внешней среды, высокая надежность, экологическая совместимость.

6 ПРОБЛЕМА ОПТИМИЗАЦИИ В ПРОЕКТНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧАХ

6.1 Введение в проблему

Оптимизация – это процесс нахождения экстремума показателя качества исследуемого процесса или проектируемого объекта («optimus» – «наилучший» по латыни). Современная теория оптимизации включает в себя методы решения различных оптимизационных задач. Аналитические методы отыскания экстремума функции многих переменных используют аппарат дифференциального исчисления и метод множителей Лагранжа. Экстремум функционалов интегрального вида ищется методами вариационного исчисления. Задачи отыскания оптимальных режимов управления динамическими системами решаются на основе математической теории оптимальных процессов, ключевой результат которой получил название «принцип максимума Понтрягина».

Наконец, задачи математического программирования решаются численными методами, использующими итерационные процедуры поиска экстремума.

В задачах оптимизации управляемых систем приходится рассматривать следующие вопросы:

1. Выбор методов минимизации функций многих переменных, к которым сводятся, например, параметрические или проектно-баллистические расчёты.

2. Выбор метода решения краевой задачи, получающейся в результате использования методов поиска оптимального управления.

3. Выбор прямых методов решения задач оптимизации, когда выбирается начальное приближение опорного управления определенной структуры. Численный алгоритм процесса поиска должен обеспечить выполнение граничных условий и ограничений, а также улучшение управления в смысле улучшения показателя качества (функционала задачи).

С инженерной точки зрения, задача считается решенной в общем виде, если указан эффективный численный метод (алгоритм), позволяющий вычислить необходимые параметры с необходимой точностью. В то же время сохраняют свое значение и аналитические методы, позволяющие проводить качественный анализ решения задачи, подтверждающий правильность полученного численного решения.

Выбор конкретного численного метода определяется следующими соображениями:

- требуемой точностью результата;
- устойчивостью работы метода (сходимостью);
- общим объемом вычислений, зависящим от сложности вычислительной процедуры;
- сложностью программирования алгоритма и характеристиками конкретной вычислительной техники.

6.2 Постановки и методы решения оптимизационных задач

В настоящее время арсенал методов оптимизации настолько обширен, а сами алгоритмы в большинстве своем настолько сложны, что приходится потратить немало усилий, чтобы, с одной стороны, найти подходящий алгоритм решения своей оптимизационной задачи, а с другой стороны, грамотно реализовать его на современной ЭВМ.

Прежде всего, отметим, что постановка любой задачи оптимизации предполагает наличие следующих обязательных компонентов: математической модели объекта оптимизации; области определения или существования модели (другими словами, всех ограничений, которые требуют своего учета); **критерия оптимальности** (или целевой функции); собственно формулировку задачи (что требуется найти и в каком виде).

По характеру объекта оптимизации и соответственно по характеру искомого решения различают *статические* и *динамические* задачи оптимизации.

К первой группе относятся задачи оптимизации так называемых статических объектов, математические модели которых могут быть представлены в виде некоторой зависимости целевой функции от искомых параметров. Такие задачи обычно называют *задачами математического программирования или задачами параметрической оптимизации*.

Вторую группу составляют задачи оптимизации управления объектами, эволюционирующими во времени, т. е. динамическими объектами. Как правило, математические модели таких объектов представляют собой систему дифференциальных уравнений. Условием оптимальности в таких задачах служит некоторый функционал, устанавливающий связь искомого управления (зависящего теперь также от времени) с целевой функцией опосредованно через систему дифференциальных уравнений. В современной теории управления такие задачи принято называть *задачами оптимального управления*.

Следует заметить, что не всегда удается провести четкую грань между статическими и динамическими задачами оптимизации. Так, например, при оптимизации динамического объекта с целью выбора ограниченного количества каких-либо параметров

этого объекта естественно задачу оптимизации трактовать как задачу математического программирования, т. е. как статическую.

Большинство задач оптимизации сложных технических систем (СТС) относится к задачам математического программирования. Сущность их сводится к отысканию такой совокупности параметров СТС, которая доставляет экстремум (минимум или максимум) некоторой целевой функции от показателей эффективности СТС с учётом ограничений.

При синтезе СТС, как правило, задачи оптимизации формулируются как задачи математического программирования. Учитывая это, в дальнейшем ограничимся рассмотрением именно этих задач, называя их для краткости по-прежнему задачами оптимизации. Поэтому классификацию задач оптимизации, приводимую ниже, следует рассматривать как классификацию статических задач оптимизации, т. е. задач математического программирования. Прежде чем перейти к обсуждению этой классификации, сформулируем сначала саму задачу оптимизации. В достаточно общем виде эта задача сводится к определению такого вектора x^* из допустимого множества X , который обеспечивает минимум целевой функции

$$x^* = \arg \min_{x \in X} f(x).$$

Как правило, допустимое множество X задается совокупностью неравенств (или равенств, или неравенств и равенств одновременно) вида

$$g(x) \leq 0 \left\{ g_i(x) \leq 0, i = \overline{1, m}; g_j(x) = 0, j = \overline{1, l} \right\},$$

Одним из основных признаков, который может быть положен в основу классификации задач оптимизации, является тип целевой (критериальной) функции и функции ограничений.

Наиболее распространенными типами как целевой функции, так и функции ограничений являются следующие: линейная, квадратичная, дифференцируемая нелинейная, аддитивная, недифференцируемая нелинейная функции. Что касается функции ограничений, то здесь целесообразным является выделение дополнительных случаев, когда ограничения либо вообще отсутствуют, либо имеют место ограничения на отдельные компоненты вектора (так называемые простые ограничения).

В соответствии со сказанным можно выделить, например, такие задачи оптимизации, как задачи оптимизации дифференцируемой целевой функции при отсутствии ограничений (классическая задача оптимизации), дифференцируемой целевой функции при наличии простых ограничений, дифференцируемой целевой функции при наличии линейных ограничений, недифференцируемой целевой функции и т. д.

Среди огромного многообразия получаемых при этом задач особо выделяют несколько классов задач оптимизации, для каждого из которых развиты свои специальные достаточно эффективные методы решения.

Первый класс таких задач составляют так называемые *классические задачи безусловной оптимизации*, в которых требуется найти минимум дифференцируемой целевой функции при отсутствии каких-либо ограничений, накладываемых на вектор искомых параметров.

Для классических задач оптимизации характерным является возможность использования при получении решения, с одной стороны, классического аппарата дифференциального исчисления (например, в виде необходимых и достаточных условий оптимальности), а с другой стороны, богатейшего арсенала численных методов безусловной оптимизации, лежащих в основе решения и более сложных задач оптимизации.

При решении задач *условной оптимизации* необходимо учитывать ограничения назначения оптимизируемых параметров, как правило, в форме равенств. Эффективным методом решения подобных задач является **метод множителей Лагранжа**. Наличие ограничений типа равенств позволяет методом исключения переменных уменьшить размерность исходной задачи. В результате возникает задача оптимизации без ограничений. Однако, метод исключения переменных применим только в тех случаях, когда уравнения ограничений удаётся разрешить относительно исключаемых переменных. Если же такое исключение не представляется возможным, задача решается методом множителей Лагранжа.

Метод штрафных функций. В этом методе поиск минимального значения целевой функции с учетом ограничений заменяется на поиск суммы целевой функции и штрафной функции. Штрафная функция организуется таким образом, что она принимает значение равное нулю, если ограничения полностью выполняются или принимает бесконечно большое значение, если ограничения не выполняются. Метод штрафных функций имеет разновидности, связанные с начальным приближением. Если метод может работать только из множества внутренних точек, то есть когда сразу выполняются ограничения, то он относится к методам внутренней точки. Его задача – препятствовать выходу за ограничения. Методы внешней точки могут начинать работу из любого начального приближения. Если начальное приближение не удовлетворяет ограничениям, то сначала метод «сбрасывает» текущую точку внутрь допустимой области.

Отметим, что при численном решении подобных задач приходится сталкиваться с овражным характером новой целевой функции.

Второй класс задач образуют *задачи линейного программирования*, в которых как целевая функция, так и функция ограничений являются линейными.

Следует особо подчеркнуть, что для решения задач линейного программирования в настоящее время разработаны весьма эффективные численные алгоритмы. В основе их лежит симплекс-метод и его различные модификации.

Следующий класс задач составляют *задачи квадратичного программирования*, в которых целевая функция является квадратичной, а функция ограничений – линейной. В достаточно общем случае эта задача имеет вид

$$x^* = \arg \min_{Ax \leq b} (c^T x + x^T H x).$$

Именно использование линейности ограничений, с одной стороны, и свойства выпуклости квадратичной целевой функции с другой стороны, позволяет на основе теории двойственности в данном случае сформировать достаточно эффективные методы решения задач оптимизации такого класса.

В отдельный класс целесообразно выделить *задачи оптимизации с аддитивными* (сепарабельными) целевыми функциями и линейными ограничениями. Аддитивной целевой функцией принято называть такую функцию многих переменных, которая может быть представлена в виде суммы отдельных функций, каждая из которых является функцией одной переменной

$$f(x) = \sum_{j=1}^n f_j(x_j).$$

Типичной постановкой задачи оптимизации рассматриваемого класса является следующая:

$$x^* = \arg \min_{\substack{Ax \leq b \\ x \geq 0}} \sum_{j=1}^n f_j(x_j).$$

Заметим, что к задачам этого класса сводятся многие распределительные задачи исследования операций. Они могут быть успешно решены методами последовательной оптимизации, основанными либо на идеях динамического программирования в общем случае, либо на идеях теории двойственности в случае выпуклых (квазивыпуклых) целевых функций.

Особый класс задач оптимизации составляют задачи, в которых либо на отдельные переменные, либо на все одновременно, накладываются условия целочисленности. Это – так называемые *задачи целочисленного программирования*. Для решения этих задач требуются специальные методы. В настоящее время наиболее успешно могут быть решены *задачи линейного целочисленного программирования*, а также *задачи целочисленного программирования с аддитивными целевыми функциями*.

До сих пор при обсуждении различных задач оптимизации мы предполагали, что целевая функция и функция ограничений однозначно определялись в зависимости от вектора параметров. Однако в действительности, как правило, наряду с вектором интересующих нас параметров приходится учитывать целый ряд дополнительных возмущающих факторов, влияющих на обе эти функции.

В качестве второго признака классификации задач оптимизации выберем способ учета возмущающих факторов. Существуют три таких способа (подхода): детерминированный, стохастический (вероятностный) и минимаксный. Аналогично называются и соответствующие задачи оптимизации.

Помимо названных возможны и другие признаки классификации оптимизационных задач. Так, по количеству целевых функций различают однокритериальные и многокритериальные задачи оптимизации.

К задачам *однокритериальной* оптимизации относят такие задачи, в которых целевая функция единственная, т. е. является скалярной функцией. Все рассмотренные до этого задачи были однокритериальные.

К задачам *многокритериальной* оптимизации относят задачи, в которых существует несколько целевых функций, или, другими словами, критерий оптимальности является вектор-функцией.

Иногда в качестве одного из признаков классификации предлагают использовать размерность задачи, которая оказывает существенное влияние на процесс поиска оптимального решения. Однако применение этого признака является малопродуктивным, так как на его основе практически можно выделить лишь один своеобразный класс задач оптимизации, а именно, задачи одномерной оптимизации, для которых удастся создать высокоэффективные алгоритмы поиска. Что касается задач более высокой, размерности (начиная с двух), то, как правило, простота (или сложность) решения их зависит не только от размерности задачи, но и от многих других факторов одновременно, к числу которых, как уже указывалось, относятся и свойства целевой функции, и свойства ограничений и многое другое.

6.3 Итерационные методы безусловной оптимизации

Анализ возможных численных методов оптимизации целесообразно начать с методов, предназначенных для решения однокритериальных детерминированных задач оптимизации при отсутствии ограничений. Такие задачи часто называют задачами безусловной оптимизации. Следует сразу подчеркнуть, что владение этими методами имеет принципиальное значение, ибо методы решения более сложных задач при наличии ограничений в большинстве случаев либо базируются на этих методах, либо практи-

чески сводятся к ним с использованием специальных приемов. Прежде всего, отметим, что сущность всех численных методов оптимизации состоит в построении такой последовательности векторов которая, по крайней мере, удовлетворяет условию $f(x^{k+1}) \leq f(x^k)$, где k – номер итерации.

Все методы могут быть разделены на классы в зависимости от максимального порядка производных минимизируемой функции, вычисление которых предполагается в процессе поиска. Так, методы, использующие только значения самой функции, называют *методами нулевого порядка*. Если, кроме того, в процессе поиска требуется вычисление первых производных, то мы имеем дело с *методами первого порядка*. *Методы второго порядка* требуют для своей реализации вычисление вторых производных.

6.3.1 Градиентные методы

С методической точки зрения анализ методов целесообразно начать с методов первого порядка. Основу этих методов составляют так называемые градиентные методы, сущность которых заключается в том, что каждое новое приближение x^{k+1} к минимуму функции $F(x)$ формируется на основе текущего приближения по схеме $x^{k+1} = x^k - h^k \nabla f(x^k)$, здесь ∇ – оператор «набла», предполагающий отыскание вектора частных производных.

В зависимости от способа задания шага поиска различают различные градиентные методы: градиентный спуск, предполагающий задание шага поиска на каждой итерации достаточно малым; простой градиентный с использованием постоянного «большого» шага поиска; градиентный с переменным шагом поиска;

наискорейший спуск, предполагающий использование на каждой итерации оптимального шага поиска.

Метод градиентного спуска является локально-оптимальным: в любой точке траектории спуска используется наилучшее направление спуска. Недостатком метода является большое количество итераций, необходимых для практической реализации метода, что, как правило, приводит к неприемлемым затратам машинного времени.

Стремление устранить указанный недостаток приводит нас к *простому градиентному методу* с «большим» шагом поиска на каждой итерации. Под «большим» шагом здесь условно понимается такой шаг поиска, который, по крайней мере, существенно превышает шаг поиска в методе градиентного спуска. Наиболее просто метод выглядит при постоянном шаге $h^k = const$. Градиентные методы с переменным шагом поиска являются более экономными как по количеству итераций, так и по затратам машинного времени.

Метод наискорейшего спуска также относится к числу методов с переменным шагом. Однако теперь шаг поиска определяется наилучшим образом на каждой итерации из условия обращения в минимум функции в направлении антиградиента

$$h^k = \arg \min_{h \geq 0} f(x^k - h^k \nabla f(x^k)).$$

Таким образом, реализация метода предполагает на каждой итерации решение вспомогательной задачи одномерной минимизации. Несмотря на это, как правило, метод наискорейшего спуска дает выигрыш по числу машинных операций, а, следовательно, и по затратам машинного времени.

6.3.2 Метод сопряженных градиентов

В рассмотренных методах на каждой итерации никак не использовалась информация, полученная на предыдущих итерациях. Очевидно, используя эту информацию, т. е. учитывая «предысторию» процесса поиска, можно рассчитывать на ускорение его сходимости. Методы поиска, в которых новое приближение формируется на основе нескольких предыдущих, называются *многошаговыми*. Одним из многошаговых методов является двухшаговый *метод сопряженных градиентов*. Идея метода заключается в построении нового приближения x^{k+1} по следующей схеме:

$$x^{k+1} = x^k - h^k \nabla f(x^k) + \beta^k (x^k - x^{k-1}),$$

где параметры h^k и β^k подбираются на каждой итерации оптимальным образом, т.е. из условия

$$(h^k, \beta^k) = \arg \min_{h, \beta} f \left[x^k - h \nabla f(x^k) + \beta (x^k - x^{k-1}) \right].$$

Характерной особенностью метода является тот факт, что метод приводит к точке минимума квадратичной целевой функции за число итераций, не более чем размерность задачи.

Несмотря на то, что последний алгоритм расписан для квадратичной функции, метод успешно может применяться и для неквадратичных функций. Правда, теперь метод уже не будет конечным. При этом оказывается целесообразным через каждые n шагов производить обновление метода, т. е. полагать $\beta = 0$ при $k = 0, n, 2n, \dots$. Метод сопряженных градиентов, являясь по форме методом первого порядка и поэтому простым в реализации, выгодно отличается от обычных градиентных методов тем, что он

обладает по существу всеми достоинствами метода второго порядка (в том числе квадратичной сходимостью).

6.4 Методы нулевого порядка

Перейдем теперь к рассмотрению методов нулевого порядка, требующих для своей реализации лишь значения целевой функции $f(x)$ и не использующих никаких частных производных. Эти методы иногда называют также *прямыми*. В тех случаях, когда градиенты и гессианы могут быть легко вычислены, прямые методы могут, конечно, оказаться менее эффективными, чем методы первого или второго порядка. Однако в целом ряде случаев прямые методы оказываются единственными практически применимыми методами. Это относится, в частности, к случаям, когда целевая функция имеет разрывы или целевая функция задана не в явном виде, а косвенно через какие-либо уравнения, относящиеся к различным подсистемам некоторой сложной системы и т. д.

В настоящее время предложено много различных прямых методов поиска. Характерным для этих методов является их эвристичность. В связи с этим сходимость и эффективность методов может быть подтверждена лишь экспериментально на примерах решения конкретных задач.

1. Метод покоординатного спуска является одним из простейших методов этой группы. Сущность метода состоит в последовательной минимизации целевой функции по отдельным переменным. Сначала отыскивается минимум по первой компоненте, считая остальные фиксированными, затем по второй (при этом первая компонента принимается равной найденной) и т. д. Метод в общем случае не обеспечивает отыскания минимума функции за один цикл поиска, т. е. после изменения всех переменных. Необходимо многократное повторение таких циклов. Основной

недостаток метода состоит в его слабой эффективности при минимизации овражных функций. Поэтому метод обычно применяют в комбинации с другими методами.

2. Метод конфигураций является более перспективным для задач большой размерности. В соответствии с этим методом вначале происходит обследование окрестности некоторой точки x^0 (например, путем изменения значений одной или нескольких компонент вектора x). После отыскания приемлемого направления производятся вычисления целевой функции при постепенно увеличивающемся шаге (тем самым устанавливается конфигурация поиска). Увеличение шага продолжается до тех пор, пока поиск в этом направлении приводит к уменьшению функции. Если уменьшения функции не происходит, то шаг уменьшают. После нескольких неудач при сокращении шага от принятой конфигурации отказываются и подводят к новому обследованию окрестности. Таким образом, согласно этому методу делаются попытки найти наилучшее направление поиска с тем, чтобы двигаться вдоль него. Метод прост в реализации. Но и для этого метода характерна возможность (хотя и в меньшей степени) заикливания вблизи локального минимума или явно выраженного оврага. По своей сути метод конфигураций является достаточно общим методом прямого поиска. Большинство методов этой группы может рассматриваться как конкретизация его.

Большую группу методов прямого поиска, требующих знания лишь значений целевой функции, составляют, так называемые, **методы случайного поиска**. В отличие от детерминированных методов поиска, рассмотренных нами ранее, методы случайного поиска предполагают использование элемента случайности (например, при определении направления поиска или длины шага), что приводит к качественно новой картине процесса поиска – траектория движения (спуска) к минимуму становится случайной.

Именно это обстоятельство позволяет на базе использования случайного поиска строить алгоритм поиска глобального экстремума. Для алгоритмов случайного поиска характерны простота, универсальность, большая эффективность поиска при оптимизации сложных систем.

Рассмотрим лишь некоторые *методы случайного поиска*.

Метод простой случайной оптимизации. Простейший вариант случайного поиска заключается в следующем. В точке x^k формируется направление с помощью датчика единичных случайных векторов, равномерно распределенных по всем направлениям. Рабочий шаг формируется исходя из условий

$$\Delta x^k = \begin{cases} h_{\text{раб}} \xi^k, & \text{если } f(x^k + h_{\text{np}} \xi^k) < f(x^k); \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

В результате получаем новое приближение $x^{k+1} = x^k + \Delta x^k$. Величина $h_{\text{раб}}$ определяется (подбирается) экспериментально. Метод оказывается эффективным в случае крутых целевых функций, вдали от точки экстремума. В районе экстремума эффективность его падает.

Метод наилучшей пробы. Смысл данного метода заключается в следующем. Из точки x^k делается m реализаций ξ^{kj} единичных случайных независимых векторов, равномерно распределенных по всем направлениям. С их помощью формируется m проб: $\{h_{\text{np}} \xi^{kj}\}_{j=\overline{1,m}}$, где h_{np} – величина пробного шага. Выбирается наилучшее направление из условия

$$\xi_*^k = \arg \min_{j=\overline{1,m}} f(x^k + h_{\text{np}} \xi^{kj}).$$

Рабочий шаг совершается именно в этом направлении

$$\Delta x^k = h_{\text{раб}} \xi^k, x^{k+1} = x^k + \Delta x^k.$$

В данном алгоритме в отличие от предыдущего выбору подлежат два параметра $h_{\text{раб}}$ и m . Очевидно, что с увеличением числа проб m наилучшее направление приближается к направлению, обратному градиенту, и в предел при $m \rightarrow \infty$ совпадает с ним. Преимущество метода по сравнению с градиентным состоит, однако, в том, что здесь может иметь место неравенство $m < n$, где n – размерность задачи, а это существенно, особенно при больших n . Кроме того, алгоритм, как и другие методы случайного поиска, обладает возможностью определения глобального экстремума.

Метод статистического градиента. Как и прежде, из точки x^k сделаем m «независимых» проб $\{h_{\text{пр}} \xi^{kj}\}$, $j = \overline{1, m}$. Вычислим соответствующие приращения целевой функции $\Delta f^{kj} = f|x^k + h_{\text{пр}} \xi^{kj}| - f|x^k|$ и образуем вектор

$$\overline{\nabla f(x^k)} = \sum_{j=1}^m \xi^{kj} \Delta f^{kj}.$$

Вектор $\overline{\nabla f(x^k)}$ называется статистическим градиентом функции $f(x)$ в точке x^k . Дело в том, что математическое ожидание направления $\overline{\nabla f(x^k)}$ для линейной целевой функции совпадает с направлением градиента. Следовательно, при конечном числе m направление этого вектора является статистической оценкой градиентного направления. Учитывая сказанное, рабочий шаг выберем равным

$$\Delta x^k = -h_{\text{раб}} \frac{\overline{\nabla f(x^k)}}{|\overline{\nabla f(x^k)}|}.$$

Данный метод, как и метод наилучшей пробы, может работать при любом m , в том числе и при $m < n$, в то время как численная реализация градиентных методов требует проведения n проб для вычисления всех составляющих вектора градиента.

Метод статистического градиента, таким образом, может быть интерпретирован как статистический аналог детерминированного градиентного метода. По отношению к методу наилучшей пробы рассматриваемый метод обладает большой эффективностью накопления информации, что приводит, в частности, к большой стабильности траектории поиска при равном количестве проб.

Метод случайного поиска с направляющей сферой. Эффективность методов поиска часто можно повысить, если наряду с новой информацией, получаемой на каждом шаге, использовать предыдущий опыт. Примером построения такого алгоритма может служить следующий.

В точке x^k делается m независимых проб $\{h_{np} \xi^{kj}\}$, $j = \overline{1, m}$, причем вектор проб μ^{kj} формируется согласно выражению

$$\mu^{kj} = \frac{W^k + c \xi^{kj}}{|W^k + c \xi^{kj}|},$$

где W^k – единичный вектор памяти, определяющий среднее направление поиска; ξ^{kj} – j -я реализация единичного случайного вектора с равномерно распределенной по всем направлениям плотностью вероятности; c – константа, характеризующая долю участия случайного направления в формировании вектора проб.

При $c < 1$ все пробные шаги укладываются внутри гиперконуса с осью W^k и углом раскрытия $2\arcsin c$.

Новое приближение x^{k+1} определяется согласно соотношению $x^{k+1} = x^k + \Delta x^k$, где смещение Δx^k находится одним из рассмотренных выше методов. Так, например, для метода наилучшей пробы:

$$\Delta x^k = h_{\text{раб}} \mu_*^k,$$

где $\mu_*^k = \arg \min_{j=1,m} f(x^k + h_{\text{пр}} \mu^{kj})$.

6.5 Многокритериальные задачи оптимизации

В общем случае задача многокритериальной оптимизации формулируется как задача одновременной минимизации некоторой совокупности показателей $f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)$. Следует сразу заметить, что однозначного решения задача в такой постановке смысла не имеет, так как минимумы отдельных показателей в общем случае достигаются при разных значениях вектора x .

Вместе с тем математические методы принятия решений совместно с методами оптимизации могут помочь исследователю принять правильные (разумные) рекомендации и в этом случае.

Существующие способы многокритериальной оптимизации можно разбить условно на две группы. Первая группа предполагает введение дополнительных гипотез, позволяющих свести задачу многокритериальной оптимизации к задаче однокритериальной оптимизации. Этот прием называют скаляризацией или свертыванием (сворачиванием) показателей (критериев). Вторая группа способов предполагает сокращение множества исходных вариантов решений путем неформального анализа этих вариантов.

Методы свертывания показателей

Ограничимся обсуждением лишь наиболее предпочтительных способов свертывания показателей.

1. Простейший способ сведения многокритериальной задачи оптимизации к задаче однокритериальной оптимизации состоит в выделении одного основного показателя, например $f_1(x)$, и переводе остальных (вспомогательных) показателей в разряд ограничений. Задача принимает следующий первичный вид

$$x^* = \arg \min f_1(x)$$

при условиях $f_2(x) \leq f_2^*, f_3(x) \leq f_3^*, \dots, f_m(x) \leq f_m^*$.

Данный способ является наиболее распространенным в инженерной практике. Для его использования достаточно лишь разумно назначать допустимые границы вспомогательных показателей.

2. Следующим широко распространенным способом свертки показателей является *линейная свертка*. Суть этого способа состоит в переходе от m показателей $f_i(x), i = \overline{1, m}$, к одному показателю $f(x)$ вида

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \alpha_i f_i(x),$$

где α_i – весовые коэффициенты, характеризующие значимость соответствующего показателя и устанавливающие определенный компромисс между ними за счет ранжирования целей по их важности. Как правило, α_i – положительные, нормированные тем или иным способом коэффициенты, например

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1.$$

Следует подчеркнуть, что назначение коэффициентов α_i и является той дополнительной гипотезой, которая сводит исходную задачу с многими показателями к задаче с одним показателем. Сам процесс является неформальным актом. Он требует проведения тщательного анализа самой задачи. Окончательное назначение коэффициентов k , часто осуществляется путем последовательных приближений на основе предварительных решений задачи при различных значениях α_i .

3. Минимаксная свертка.

Часто в задачах с многими показателями удается сформировать некоторую систему контрольных значений показателей $f_i^*(x), i = \overline{1, m}$, являющихся по сути оценками сверху для рассматриваемых показателей $f_i(x) \leq f_i^*, i = \overline{1, m}$. Если теперь в качестве меры близости показателей к своим контрольным значениям использовать следующую функцию максимума

$$f(x) = \max_{i=1, m} \frac{f_i(x)}{f_i^*},$$

то задача скалярной оптимизации примет вид

$$x^* = \arg \min_x \max_{i=1, m} \frac{f_i(x)}{f_i^*}.$$

Таким образом, многокритериальная задача оптимизации сводится к отысканию гарантированного решения в смысле близости к контрольным значениям исходных показателей.

4. Квадратичная свертка. С целью получения более простых способов решения задачи иногда может оказаться целесообразным вместо минимаксной свертки использовать квадратичную свертку. В простейшем случае она имеет вид

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \left(\frac{f_i(x) - f_i^*}{f_i^*} \right)^2.$$

5. Использование понятия «абсолютного минимума». Одним из способов формирования контрольных значений f_i^* для исходных показателей f_i является решение следующей системы

од-

нокритериальных задач:

$$x^* = \arg \min_x f_i(x), i = \overline{1, m}.$$

В этом случае совокупность величин $f_i^* = \min_x f_i(x) = f_i(x_i^*)$ в пространстве исходных показателей определяет некоторую точку, которую можно назвать точкой «абсолютного» минимума. Эта точка достижима лишь в случае, когда все решения x_i^* совпадают. В остальных же случаях можно говорить лишь о близости к этой точке. Если теперь ввести в рассмотрение некоторую скалярную функцию, характеризующую степень этой близости, то ее можно использовать в качестве нового скалярного показателя. В простейшем случае такой функцией может быть квадратичная форма вида

$$f(x) = \sum_{i,j=1}^m (f_i(x) - f_i^*) \lambda_{ij} (f_j(x) - f_j^*),$$

где λ_{ij} — элементы некоторой положительно-определенной матрицы.

6. Метод последовательных уступок. Вначале проводится упорядочение критериев по важности. Выбирается главный критерий, остальные критерии привлекаются последовательно в порядке убывания важности. Метод уступок отличается введени-

ем допустимых отклонений (уступок) от оптимального значения критерия, достигнутого на текущем уровне, в пользу следующих по уровням критериев. Метод позволяет учесть «интересы» всех критериев. Этот учёт реализуется в меньшей степени для случая, когда данный критерий занимает более низкое место в упорядоченной иерархии критериев. Субъективность метода заключается в принятой схеме упорядочения критериев и допустимых значениях уступок.

6.6 Принцип Парето. Выделение множества предпочтительных решений

Как уже указывалось, наряду со свертыванием многих показателей к одному, возможны и иные пути к решению задачи многокритериальной оптимизации. Ограничимся обсуждением одного из них, связанного с использованием так называемого принципа Парето.

Сущность данного подхода состоит в исключении из неформального анализа таких вариантов решения, которые заведомо являются «плохими». Поясним подробнее данную мысль.

Предположим, что x' и x'' – два возможные (допустимые) варианта решения задачи, такие, что имеют место неравенства:

$$f_i(x') \leq f_i^*(x''), i = \overline{1, m}$$

причем хотя бы одно из них выполняется строго. В этом случае, очевидно, что решение x' предпочтительнее решения x'' . Значит все векторы x'' , удовлетворяющие этому условию, могут быть сразу исключены из рассмотрения. Поэтому неформальному анализу должны быть подвергнуты лишь векторы, для которых не существует предпочтительных векторов. Такие векторы назы-

вают неумлучшаемыми. Множество всех неумлучшаемых векторов принято называть *множеством Парето или множеством предпочтительных решений*.

Обратимся к простейшему примеру, когда имеются всего две целевые однозначные функции $f_1(x), f_2(x)$. В этом случае каждому значению x будет соответствовать одна точка на плоскости. Равенства $f_1 = f_1(x), f_2 = f_2(x)$ определяют параметрически некоторую кривую a, b, c, d, e, g, h на этой плоскости. Однако множеству Парето соответствует не вся кривая, а лишь ее часть. Действительно, участок cd не может принадлежать множеству Парето, так как для каждой точки этого участка A найдется точка A' участка bc , в которой значение целевой функции будет меньше, чем в точке A . Совершенно аналогично из рассмотрения должны быть исключены участки de и gh . К множеству Парето в данном случае относятся лишь участки ac и ed , причем точка e также должна быть исключена.

Таким образом, принцип Парето заключается в том, что в качестве оптимального решения x^* должно быть выбрано только такое, которое принадлежит множеству Парето, $x^* \in \Pi$. Как мы видим, принцип Парето не выделяет единственное решение, оно лишь сужает множество возможных альтернатив. Часто такое сужение оказывается весьма существенным. Окончательный выбор остается за исследователем, принимающим рекомендации. Если же в нашем распоряжении будет некоторый формализованный скалярный показатель для принятия рекомендаций, то задача выбора окончательного решения может быть осуществлена из условия:

$$x^* = \arg \min f_{\Pi}(x),$$

где через Π обозначено множество Парето на допустимом множестве векторов $x \in X$. Теперь коротко остановимся на вопросе построения множеств Парето. Ограничимся для простоты случаем двух показателей $f_1(x), f_2(x)$ которые должны быть минимизированы с учетом ограничений $x \in X$.

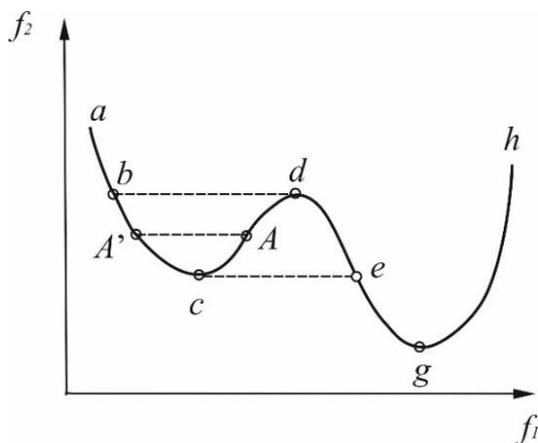


Рис. 6.1. Построение графика множества Парето

Каждому решению (альтернативе) можно поставить в соответствие некоторую точку на плоскости критериев. Таким образом, множество проектных решений отображается в некоторое другое множество, которое обычно называют множеством достижимости.

Ситуация, когда существует альтернатива, наилучшая для всех критериев, практически не встречается. Различные требования к оптимизируемой системе, формулируемые с помощью нескольких критериев, как правило, противоречат друг другу: решение, улучшающее один из критериев, обуславливает ухудшение одного или нескольких других критериев.

6.7 Критерии оптимальности в задачах проектирования аэрокосмической техники.

Использование критерия «эффективность – стоимость»

Основные критерии оптимальности проектных решений в аэрокосмической технике сводятся к следующему:

- максимальная дальность полёта баллистической ракеты;
- минимальный расход топлива (рабочего тела) на выполнение динамических операций по изменению орбит или переориентации космического аппарата;
- максимальная полезная нагрузка доставляемая ракетой с заданной стартовой массой на расчётную орбиту с заданными параметрами;
- характеристики рассеивания при наведении баллистической ракеты в заданную точку поверхности Земли (круговое вероятное отклонение);
- удельная стоимость космической миссии, выражающаяся в оценке стоимости выведения единицы полезной нагрузки;

Могут быть предложены различные варианты других критериев.

Анализ эффективности сложных технических систем (СТС) неотделим от анализа затрат ресурсов на достижение определенной ее эффективности. Ни затраты ресурсов, ни эффективность СТС сами по себе не дают достаточных оснований для выбора СТС.

Желание иметь самую дешевую СТС бессмысленно, так как неизвестно, что именно мы хотим получить за наименьшую цену. С другой стороны, недостаточно желать СТС, способную выполнить поставленную перед нею цель. Существует несколько путей к достижению этой цели (если она вообще осуществима), требующих различных затрат ресурсов. Поэтому только с помощью соот-

ветствующего критерия, учитывающего и эффективность, и затраты, можно выбрать предпочтительный путь.

Рассмотрим, каким образом показатели эффективности и затрат ресурсов входят в критерий выбора. Для упрощения изложения будем в дальнейшем оценивать затраты ресурсов стоимостью создания и эксплуатации СТС.

Очевидно, что показатель эффективности СТС должен зависеть не только от варианта ее построения, характеризуемого вектором x , но и от стоимости системы C .

Если полагать, что ресурсы расходуются наиболее рационально, то функция, характеризующая зависимость максимального значения показана на рис. 6.2.

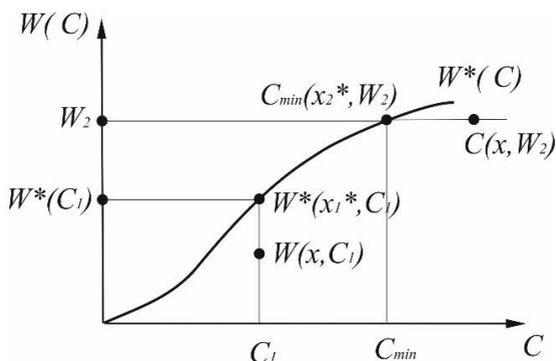


Рис. 6.2. Зависимость оптимального значения показателя эффективности от стоимости системы

Эта зависимость показывает, что синтез СТС можно проводить для одной из двух постановок задачи:

- 1) затраченные ресурсы должны обеспечивать наивысшую эффективность системы при заданной стоимости.
- 2) требуемая эффективность системы должна быть обеспечена при наименьших затратах ресурсов.

В некоторых случаях при синтезе системы удобно пользоваться относительным критерием «эффективность – стоимость», требующим максимальную эффективность на единицу затрат.

Ниже будет показано, что при использовании этого относительного критерия никогда не следует забывать о необходимости фиксации (задания) абсолютного значения либо эффективности, либо стоимости.

Критерий «эффективность – стоимость» является примером критерия, построенного для векторного показателя.

Построение критерия для случая векторного показателя существенно усложняется по сравнению со случаем скалярного показателя.

Наиболее распространенным на практике, хотя и не самым совершенным, является подход к построению критерия, при котором от нескольких показателей переходят к единственной целевой функции показателей. Во всех таких методах, а их существует достаточно много, в той или иной форме используется дополнительная информация об относительной важности отдельных показателей, оценивающих степень достижения цели.

Остановимся кратко на некоторых методах построения целевой функции при многих показателях.

Объективное свертывание. В некоторых случаях объективно существует возможность перехода от многих показателей к единственной целевой функции. Такая возможность часто появляется при переходе к рассмотрению системы более высокого уровня иерархии, в состав которой входит синтезируемая система, если эффективность этой системы более высокого уровня можно оценить с помощью единственного показателя. Конечно, при этом необходимо привлекать некоторую дополнительную информацию, позволяющую рассчитать показатель эффективности системы более высокого уровня при всех альтернативах синтезируемой подсистемы.

Субъективное свертывание. Найти и использовать объективную возможность замены многих показателей единственным удается не всегда. В подобных случаях свертывание проводят, используя получаемую субъективно от одного или нескольких лиц и задаваемую в той или иной форме информацию об относительной важности показателей эффективности.

К таким субъективным способам свертывания можно, в частности, отнести: введение обобщенного показателя с помощью весовых коэффициентов; выделение среди показателей одного «главного» и перевод других в разряд ограничений; упорядочение показателей по важности и др.

Сущность свертывания путем введения главного показателя вытекает из самого названия способа. В этом случае задаются ограничения на остальные показатели.

При упорядочении показателей по важности исследователь выстраивает показатели в ряд в порядке убывания их важности и использует следующий критерий: альтернатива является наилучшей, если она лучше всех других рассматриваемых альтернатив по наиболее важному показателю; следующий по важности показатель привлекается для сравнения альтернатив лишь в случае равенства оценок альтернатив по показателю более высокого уровня.

В связи со сложностью задачи выбора критериев всегда существует опасность ошибки при этом. Рассмотрим некоторые из наиболее часто встречающихся ошибок.

1. Неучёт абсолютной величины эффективности или затрат при использовании в качестве показателя отношения эффективности к затратам. Например, при выборе системы ПВО критерием может быть максимальное отношение количества перехваченных целей к затратам, иначе говоря, максимальный предотвращенный ущерб в расчете на единицу затрат. Такой критерий может показаться вполне разумным, однако ему могут удовлетворять самые

разнообразные системы: от СТС с высокой эффективностью и громадной стоимостью до дешевой СТС с малой эффективностью. Фактически такой критерий будет одобрять применение морально устаревших существующих СТС. Пусть, например, сравниваются довольно простая система ПВО, которая может перехватить 50 самолетов и обходится в пять единиц затрат (отношение 10:1), и сложная система, которая может перехватить 200 самолетов при затратах в 50 единиц (отношение 4:1). При выборе первой системы объект может оказаться незащищенным, несмотря на лучшее значение показателя. Из примера видно, что критерий на основе относительного показателя может привести к принятию неправильных рекомендаций, если не зафиксирована абсолютная величина эффективности (масштаб СТС) или абсолютная величина затрат.

Заметим кстати, что критерий «эффективность – стоимость» не обязательно отдает предпочтение СТС с дешевыми элементами. Более дешевые элементы оказываются предпочтительными, если средства, истраченные на количество элементов, дают больший эффект, чем средства, затраченные на качество элементов. В обратном случае будут предпочтительными более дорогие элементы.

2. Неверное задание эффективности или затрат при выборе критерия «эффективность – стоимость» приводит к ошибке в принятии рекомендации. Так, в рассмотренном выше примере, если требуемая эффективность системы задана как способность к перехвату 50 самолетов, то наилучшей будет первая система; если же задана эффективность перехвата в 200 самолетов, то лучшей будет вторая система. Ошибки в задании затрат также могут привести к неверным выводам.

3. Неверный выбор цели. В этом случае показатель, характеризующий степень достижения цели, выглядит правильно, хотя он является ошибочным, как и сама выбранная цель. Взаимосвязан-

ные ошибки в выборе критерия и цели могут происходить в тех случаях, когда цель не определена, и исследователь, выбирая критерий, тем самым косвенно как бы определяет цель системы.

4. Использование критериев, «переопределенных» в том смысле, что требования, содержащиеся в них, не могут быть выполнены совместно. Примером может служить требование достигнуть максимальной эффективности при минимальных затратах. Ошибки такого типа не приводят к серьезным последствиям, так как на деле использовать подобные критерии невозможно. Однако они вызывают потери времени и других ресурсов на бесполезные исследования.

5. Неправильное применение «правильных» критериев. Ошибка состоит в том, что критерий, успешно использованный в одной задаче, механически переносится на другую задачу, где он оказывается непригодным.

Чтобы избежать ошибок в выборе критериев, следует соблюдать «осторожность». Кроме этой наиболее общей рекомендации, можно дать несколько более конкретных советов.

- Следует остерегаться бессодержательных критериев и явных ошибок, рассмотренных выше.

- Не следует выбирать критерии, пользуясь только интуицией. Нужно тщательно исследовать критерии в каждой конкретной задаче, изучив связи между выбранными критериями и критериями на вышестоящих уровнях. Необходимо всегда проверять, совместим ли данный критерий с критериями на высших уровнях, и учитывает ли он все основные задачи СТС. Такое исследование критериев следует проводить в каждой конкретной задаче, так как невозможно проанализировать критерии вообще и составить стандартный набор рекомендуемых критериев. Каждая задача имеет свой наилучший критерий.

- Следует проявлять особую осторожность при сравнении СТС по многим показателям и, в первую очередь, при свертывании показателей. При использовании векторного показателя бесспорно предпочтительной является СТС, наилучшая по каждой составляющей показателя.

- При анализе результатов моделирования и выработке рекомендаций может обнаружиться несовершенство критерия. Тогда следует сделать выводы, отказавшись от формального предпочтения по этому критерию, на основе качественного анализа результатов моделирования и здравого суждения или же повторить моделирование для нового критерия.

- В трудных ситуациях, когда не удастся построить правильный критерий, можно провести анализ без использования критериев, просто сопоставляя результаты моделирования (достижимые результаты и затраты на них) для альтернативных вариантов СТС. Такой подход даст более достоверные рекомендации по сравнению с использованием несовершенного критерия.

7 РЕГЛАМЕНТАЦИЯ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ САМАРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

7.1 Научные школы

Научная школа – оформленная система научных взглядов, а также научное сообщество, придерживающееся этих взглядов. Формирование научной школы происходит под влиянием лидера, эрудиция, круг интересов и стиль работы которого имеют определяющее значение для привлечения новых сотрудников. Отношения внутри такого научного коллектива способствуют обмену информации на уровне идей (а не конечных результатов исследований), что значительно повышает эффективность творческой научной работы.

Научные школы формируются в рамках университетов, институтов, кафедр, и объединений учёных любого уровня.

Признаками научной школы также являются:

- высокий уровень научных результатов, отличающихся крупным вкладом в мировую науку;
- признание школы среди сообщества учёных;
- общность системы взглядов, научных интересов и значимость исследований, отличающихся определённой направленностью и методологией;
- определяющая роль лидера, хорошие перспективы школы, преемственность научных поколений.
- воспроизводство новых поколений учёных специалистов.

7.2 Российская Академия Наук

В 1991 году, в связи с распадом СССР, была воссоздана Российская академия наук (РАН). Президента РАН выбирают члены академии наук, но утверждает – Президент страны. В 2013 году произошло расширение РАН за счёт включения в состав РАН медицинского и сельскохозяйственного отделений.

Основной целью деятельности Российской академии наук является организация и проведение фундаментальных и прикладных научных исследований по проблемам естественных, технических, гуманитарных и общественных наук, направленных на получение новых знаний о законах развития природы, общества, человека и способствующих технологическому, экономическому, социальному и культурному развитию России.

Будучи высшей научной организацией России, Российская академия наук принимает участие в координации фундаментальных исследований, выполняемых за счёт средств федерального бюджета научными организациями и образовательными учреждениями высшего профессионального образования, а также в экспертизе результатов фундаментальных исследований.

Научные организации подразделяются на научно-исследовательские, опытно-конструкторские, проектно-конструкторские, проектно-технологические, научные организации образовательных учреждений высшего профессионального образования и другие организации, осуществляющие научную или научно-техническую деятельность.

7.3 Научные степени и звания России

Учёные степени

Учёная степень – ступень квалификационной системы в науке, позволяющей ранжировать научных деятелей на отдельных этапах академической карьеры. Решение о присуждении учёной степени базируется на оценке только научно-исследовательского уровня соискателя.

Присуждение учёных степеней доктора и кандидата наук в России осуществляется специализированными по научным направлениям диссертационными советами после защиты представленной диссертационной работы. Это присуждение должно быть подтверждено решением Высшей аттестационной комиссии (ВАК) России.

Претендент на учёную степень обязан представить диссертацию, основные результаты которой должны быть им предварительно опубликованы в научных изданиях.

Диссертация на соискание ученой степени **доктора наук** должна быть научной квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как новое крупное достижение в развитии соответствующего научного направления, либо осуществлено решение научной проблемы, имеющей важное социально-культурное, народнохозяйственное или политическое значение, либо изложены научно обоснованные технические, экономические или технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в ускорение научно-технического прогресса.

Диссертация на соискание ученой степени **кандидата наук** должна быть научной квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для

соответствующей отрасли знаний, либо изложены научно обоснованные технические, экономические или технологические разработки, обеспечивающие решение важных прикладных задач.

Учёное звание **профессора** (профессор, лат. professor – преподаватель) присваивается работникам высших учебных заведений и научных организаций, имеющим, как правило, учёную степень доктора наук, за определённые достижения. Профессиональные обязанности такого человека включают педагогическую работу (чтение лекций, создание учебных курсов, руководство аспирантами), научную деятельность (проведение исследований, публикация новых результатов) и участие в управлении учебным заведением. Относительный «вес» названных компонент зависит от конкретного учреждения.

В России существует почетное звание «**Заслуженный деятель науки Российской Федерации**», которое присваивается выдающимся ученым за личные заслуги:

- в разработке приоритетных направлений науки и техники, способствующих осуществлению российскими организациями существенного научного и технологического прорыва, а также обеспечению лидерства Российской Федерации в научном мире;
- в успешном внедрении и использовании научных разработок и их результатов в высокотехнологичном производстве;
- в создании научных межотраслевых школ;
- в развитии и осуществлении научно-исследовательской деятельности в образовательных организациях высшего образования Российской Федерации с привлечением к работе студентов, аспирантов и молодых ученых.

Почетное звание "Заслуженный деятель науки Российской Федерации" присваивается при наличии у представленного к награде лица ученой степени доктора наук и заключения прези-

диума профильных государственных академий наук о признании результатов научной и научно-практической деятельности.

Учёные степени, присуждаемые в различных странах, существенно различаются по названиям, требованиям к квалификации, процедуре присуждения и/или утверждения.

Во многих странах запада присуждают учёную степень степени «Доктор философии» (лат. Philosophiae Doctor, Ph. D., PhD, «пи-эйч-ди»). Квалификационной работой соискателя степени является докторская диссертация (Ph. D. Thesis). Непосредственно с философией ученая степень связана только исторически: она присуждается почти во всех научных областях, в том числе, и в юриспруденции (Ph. D. in Law / Ph. D. in Legal Students). В ряде стран, например, Великобритании, США и Канаде, эта степень является высшей. Учёная степень Ph. D. примерно соответствуют уровню российского кандидата наук. Однако автоматического приравнивания степеней не происходит, для получения прав кандидата наук в России обладатель степени Ph. D., полученной за границей, должен пройти процедуру «нострификации» уполномоченными органами в соответствующей стране.

В этом случае, докторская степень, которая получается со статусом доктора философии, не аналогична степени доктора наук в Российской Федерации, хотя и является второй степенью послевузовского образования.

Чтобы получить следующую после учёной степени доктора философии Doctor of Science (D. Sc.), в Германии и в некоторых европейских и азиатских странах необходимо пройти хабилизацию (нем Habilitation – от лат. Habilis – способный, пригодный) – процедуру получения высшей академической квалификации. После прохождения процедуры хабилизации, то есть защиты второй докторской диссертации (более весомой, чем первая), претенденту присваивается учёная степень хабилизированного доктора

(лат. doctor habilitatus, Dr. habil.), которая даёт право на занятие профессорской должности в университете, что соответствует российской учёной степени доктора наук.

7.4 Приоритетные научные исследования

Приоритетные направления исследований и разработок реализуются в виде крупных межотраслевых проектов по созданию, освоению и распространению прорывных технологий, а также по развитию фундаментальных исследований, научно-техническому обеспечению социальных программ, программ международного сотрудничества.

Приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники в Российской Федерации в настоящее время являются:

1. Безопасность и противодействие терроризму.
2. Индустрия наносистем.
3. Информационно-телекоммуникационные системы.
4. Науки о жизни.
5. Перспективные виды вооружения, военной и специальной техники.
6. Рациональное природопользование.
7. Транспортные и космические системы.
8. Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика.

Конкретные приоритетные направления развития науки и техники детализируются в перечне критических технологий. Эти технологии носят межотраслевой характер и имеют существенное значение для развития многих областей науки и техники. Перечень критических технологий Российской Федерации, утверждается Указом Президента РФ и включает следующие технологии:

Базовые и критические военные и промышленные технологии для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники.

Базовые технологии силовой электротехники.

Биокаталитические, биосинтетические и биосенсорные технологии.

Биомедицинские и ветеринарные технологии.

Геномные, протеомные и постгеномные технологии.

Клеточные технологии.

Компьютерное моделирование наноматериалов, наноустройств и нанотехнологий.

Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии.

Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом.

Технологии биоинженерии.

Технологии диагностики наноматериалов и наноустройств.

Технологии доступа к широкополосным мультимедийным услугам.

Технологии информационных, управляющих, навигационных систем.

Технологии наноустройств и микросистемной техники.

Технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику.

Технологии получения и обработки конструкционных наноматериалов.

Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов.

Технологии и программное обеспечение распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем.

Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации её загрязнения.

Технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи.

Технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Технологии снижения потерь от социально значимых заболеваний.

Технологии создания высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта.

Технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения.

Технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств.

Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии.

Технологии энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе.

Фундаментальные и прикладные научные исследования, а также НИОКР и ОКР в Самарском университете проводятся по приоритетным направлениям развития науки, технологии и техники и критических технологий Российской Федерации, утверждённым указом Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899.

Так, основными научными направлениями, утвержденными учёным советом Самарского университета, являются:

– аэродинамика, динамика полета, проектирование и технология изготовления авиационных и космических летательных аппаратов;

- конструкция, бортовые системы и оборудование летательных аппаратов;
- теоретические и экспериментальные исследования двигателей летательных аппаратов;
- моделирование и проектирование в двигателестроении;
- двигатели внутреннего сгорания;
- специальные материалы двигателестроения;
- технология производства, системы, узлы и агрегаты двигателей;
- технология производства деталей и узлов машин;
- лазерные технологии, электронно-ионно-плазменные технологии;
- прессование, спекание и штамповка изделий из порошковых материалов;
- обработка поверхности пластическим деформированием;
- математические и кибернетические методы в машиностроении;
- защита от шума, вибрации, электрических и магнитных полей и излучений;
- комплексные и специальные разделы механики;
- узлы, детали и элементы радиоэлектронной аппаратуры;
- неорганические катализаторы;
- медицинские приборы и измерительные системы;
- биоэлектронные и механические системы стимуляции органов и тканей человека;
- обработка изображений и компьютерная оптика;
- системы автоматизированного проектирования;
- компьютерные сети, системы телекоммуникаций, информационные системы.

Наряду с традиционными научными направлениями в университете развиваются такие направления, как:

– компьютерное моделирование и информационная поддержка разработки изделий авиационной и ракетно-космической техники, в том числе с использованием параллельных вычислений, создание баз данных электронных моделей летательных аппаратов, двигателей и их систем;

– создание и отработка малых космических аппаратов, в том числе наноспутников;

– разработка новых производственных технологий, в том числе магнитно-импульсной, механической, электрохимической, ионно-плазменной, лазерной обработки материалов, нанотехнологий, технологий пластического деформирования, технологий прокатки высокопрочных алюминиевых лент, технологий виброзащиты на основе материала «металлорезина», создание материалов с заранее заданными конструкционными свойствами, разработка космических биомедицинских приборов;

– развитие космических геоинформационных технологий, в том числе создание программно-аппаратных средств геоинформационных систем, баз данных и сервисов высокоточного оперативного пространственного моделирования территорий на основе данных дистанционного зондирования Земли;

– наноинженерия, космическая и водородная энергетика, компьютерная оптика, нанофотоника, робототехника.

Направления научных исследований Самарского университета соответствуют профилю профессиональных образовательных программ и подготовки специалистов.

Ежегодно в Самарском университете выполняется более трехсот проектов по научно-исследовательским, опытно-конструкторским и опытно-технологическим работам с ведущими российскими и зарубежными научно-производственными организациями.

В результате многолетней деятельности Самарский университет признан в регионе, в России и в мировом сообществе как ве-

душий образовательно-научный центр в аэрокосмической отрасли и в сфере информационных и телекоммуникационных технологий.

7.5 Концепция космических исследований

Процесс накопления новых данных в фундаментальных науках, в частности, космологии требует применения все более современных инструментов. Но большинство спектров исследования доступно все же только при внеатмосферных наблюдениях.

Прорыв в представлениях о Вселенной связан с появлением космического телескопа Hubble с зеркалом диаметром 2,4 м, который запущен в 1990 г. Этот телескоп позволил «заглянуть во вселенную» гораздо дальше, в определённых спектрах наблюдения, чем это было возможно с наземных комплексов. Особенно расширились возможности телескопа Hubble после ремонта на орбите с помощью экипажа Space Shuttle (космический челнок) «Atlantis» (США) в 2009 г. После замены аккумуляторов, фотоприёмной матрицы и некоторой аппаратуры телескоп позволил наблюдать более отдалённые объекты.

На смену телескопа Hubble в США 25 декабря 2021 года телескоп JWST (James Webb Space Telescope) был успешно запущен с космодрома Куру при помощи ракеты «Ариан-5» с диаметром составного зеркала до 6,5 м, что позволит заглянуть во вселенную ещё дальше.

Благодаря, в частности, космическим телескопам подтверждается гипотеза о бесконечности вселенной.

Автоматические аппараты для исследования планет

Песчаные бури пустынь Марса – это не те места, куда нужно готовить эвакуацию человечества с еще вполне зеленой и уютной Земли. Поэтому целью человечества должно стать достижение оптимального соотношения ожидаемого эффекта и затрат ограни-

ченных ресурсов планеты. И по этому параметру преимущество использования автоматов для планетных исследований бесспорно. Если же в процессе планетных исследований будет определена конкретная задача, требующая присутствия именно человека на другой планете, – тогда ситуация изменится.

Астрофизические задачи

Астрофизические задачи как средство познания мира могут на данном историческом этапе быть обозначены в качестве основного стержня космических исследований. И вся логика космических программ может строиться вокруг этого стержня.

Во-первых, последовательное совершенствование внеземных обсерваторий как необслуживаемых – на высоких орбитах, так и обслуживаемых (по примеру «Хаббла») – на низких.

Во-вторых, последовательное детальное изучение автоматами Луны и на предмет пригодности ее для размещения астрофизических средств, и на предмет подготовки работы человека на её поверхности.

В-третьих, исследование автоматами всех доступных космических тел, в том числе астероидов, с целью совершенствования представлений о процессах происхождения и эволюции Вселенной.

Таким образом, вырисовывается концепция космических исследований: «Бережливые технологии исследования Вселенной как средство познания, необходимого для дальнейшего развития человечества».

Если выделить главное, то можно обобщить, что прикладные исследования применительно к области космонавтики заключаются в совершенствовании ракетно-космической техники и их систем как средств обеспечения повышения эффективности фундаментальных исследований (космические телескопы, аппараты для исследования физики Солнца, планет и др.) и как средств, обеспечи-

вающих улучшение жизни человечества в части применения космических средств (связь, Ретрансляция, навигация, наблюдение поверхности Земли из космоса и др.).

Особое место занимают исследования в области совершенствовании средств доставки полезных грузов в то или иное место космического пространства. Это ракеты-носители, космические разгонные блоки (блоки выведения), межорбитальные транспортные аппараты, космические буксиры и др.

К сожалению, для судеб человечества существует ещё масса прикладных проблем, связанных с военными задачами государств (системы и средства обороны и нападения). Эти проблемы связаны совершенствованием средств космической разведки, радиолокации, радиоэлектронных средств противодействия противнику и доставки этих средств, разработки космических аппаратов истребителей, носителей лазерного и атомного оружия и др.

7.6 Направления научной и учебно-исследовательской деятельности кафедры космического машиностроения имени Генерального конструктора Д.И. Козлова

Кафедра космического машиностроения имени Генерального конструктора Д. И. Козлова была образована в 2013 году на базе кафедр летательных аппаратов, динамики полёта и систем управления, прочности летательных аппаратов.

Для Самарского университета космическое машиностроение – одно из системообразующих и важнейших направлений научно-образовательной деятельности. Тесная кооперация вуза с предприятиями ракетно-космической отрасли сформировала серьёзные возможности для развития научных исследований.



Рис. 7.1. Генеральный конструктор Дмитрий Ильич Козлов
(1919 – 2009 гг.)

Кафедра явилась инициатором создания единственной в России группировки университетских МКА научно-образовательного назначения «АИСТ». Проект был реализован совместно со стратегическим партнёром вуза – АО «РКЦ «Прогресс». Успешный опыт разработки аппаратов серии «АИСТ» позволил перейти к реализации более сложного и амбициозного проекта: был создан малый космический аппарат ДЗЗ «АИСТ-2Д». Его разработка, изготовление и испытания уместились в рекордные 32 месяца! Аппарат был запущен 28 апреля 2016 года с нового космодрома Восточный в рамках первой пусковой кампании. Одно из главных достоинств аппарата «АИСТ-2Д» в том, что это унифицированная платформа, являющаяся базой для проектирования перспективных малых космических аппаратов, оснащённых различными типами целевой аппаратуры, в том числе оптической, радиолокационной, инфракрасной, гиперспектральной стереоаппаратурой.

Научная и образовательная деятельность кафедры ведётся по ряду наиболее перспективных тем. Так, идёт работа над перспективным проектом малых космических аппаратов «АИСТ 3». Он может рассматриваться как элемент системы «Сфера», разрабатываемой в настоящее время Роскосмосом, и как самостоятельный проект в области создания средств экологического мониторинга. Аппарат оснащён широкозахватной аппаратурой дистанционного зондирования Земли, которая снимает с разрешением 5 м и полосой захвата 60 км. Учёные кафедры рассматривают возможность оснастить аппарат экспериментальной аппаратурой наблюдения на основе дифракционной оптики.

С августа 2015 года предприятие передало университету функции управления и эксплуатации группировкой спутников. Был создан центр приёма и обработки информации от группировки МКА «АИСТ». Сотрудники центра – магистранты и аспиранты кафедры. В центре на базе реальных данных телеметрической информации, получаемых со спутников, проводится целый комплекс исследований, в том числе по исследованию микрометеоритных частиц, магнитного поля Земли, а также исследований в области живучести космической техники. Центр представляет собой наземный сегмент уникальной лаборатории, космический сегмент которой находится на орбите. Студенты и магистранты проходят производственную практику на космодроме Байконур, где они изучают его инфраструктуру, присутствуют при запусках ракет.

Такой подход позволяет университету готовить уникальных специалистов в области ракетно-космической техники.

НИИ космического машиностроения был создан в составе НИЦ Университета в соответствии с приказом № 61-0 от 15 февраля 2013 года.

Цель создания – развитие научных исследований в области космического машиностроения и повышение качества подготовки студентов по специальностям ракетно-космического профиля.

На кафедре космического машиностроения существуют несколько направлений научных исследований.

В состав структурных подразделений при кафедре космического машиностроения входят:

- НИИ космического машиностроения;
- НИИ системного проектирования;
- Научно-образовательный центр «Проектирование малых космических аппаратов»;
- Молодежный научно-инновационный центр;
- Центр приема и обработки информации от группировок малых, микро и нано спутников.

Цель создания Центра приема и обработки информации от группировок малых, микро и нано спутников – научное обобщение данных, поступающих с группировки спутников, разработка методов повышения надёжности идентификации полученных данных, распространение научной информации, повышения качества образования студентов в части эксплуатации космических систем.

К наиболее значимым научно-практическим достижениям в области космического машиностроения можно отнести реализацию проекта, выполненного в рамках Постановления Правительства РФ № 218 совместно с ОАО «РКЦ «Прогресс». В результате сформирован проект первого малого космического аппарата серии «АИСТ-2» – многофункционального малого космического аппарата дистанционного зондирования Земли «АИСТ-2Д».

Проект малых космических аппаратов научного назначения серии «АИСТ» был инициирован группой сотрудников кафедры и студентов СГАУ в 2006 году. Проектные проработки проводились студентами и дипломниками СГАУ, были переданы на

АО «РКЦ «Прогресс». На предприятии с участием молодых специалистов - выпускников кафедры выполнен комплекс конструкторских работ, работ по созданию малого КА, его экспериментальной отработки. В результате выполнения проекта на околоземные орбиты выведена группировка из двух малых КА «АИСТ» (масса каждого с адаптером – 53 кг) для решения ряда научных и образовательных задач.

Развитием проекта малых КА «АИСТ-2» является проект малого КА мониторинга Земли «АИСТ-2Д» массой около 530 кг для решения ряда научных, технологических, эксплуатационных задач прикладной космонавтики, а также для отработки методов дистанционного обучения специалистов для ракетно-космической отрасли.

В 2014 г. закончена реконструкция высотной зоны корпуса ЭИК-3. Сформирован производственно-испытательный комплекс малых космических аппаратов. Оснащение комплекса осуществлялось за счет средств проекта и за счёт Программы развития НИУ СГАУ и собственных средств АО «РКЦ «Прогресс».

Этапы сборки, наземной экспериментальной отработки, летных испытаний МКА «АИСТ-2Д» проводились в 2015 году. Запуск КА был произведён 28 апреля 2016 г. с космодрома «Восточный».

Это стало возможным благодаря открытию в университете Наземного комплекса управления малыми космическими аппаратами (НКУ МКА СГАУ). Комплекс включает передатчик, приёмник, четыре автоматизированных рабочих места и антенное устройство, расположенное на крыше научного корпуса СГАУ. Для работы в Наземном комплексе управления малыми космическими аппаратами аспиранты СГАУ предварительно прошли обучение и аттестацию в РКЦ «Прогресс».

С помощью Наземного комплекса управления молодые учёные смогут самостоятельно формировать программу полёта спутника и закладывать её на борт, включать в заданное время ту или иную научную аппаратуру, получать информацию о параметрах движения, температурных показателях, напряжении бортовой сети и токе солнечных панелей, а также проводить ряд других операций.

С августа 2015 г. РКЦ «Прогресс» полностью передал управление аппаратами «АИСТ» Самарскому государственному аэрокосмическому университету. Теперь следить за спутниками, а также подавать команды на борт и снимать контрольную телеметрию способны учёные и аспиранты СГАУ.

В течение восьми лет сотрудниками кафедры космического машиностроения совместно с коллективом АО «РКЦ «Прогресс» велось научно-техническое сопровождение полета и обработка информации с борта космического аппарата «АИСТ-2Д». Расчетный срок функционирования данного аппарата был определен в 4 года, фактически он был превышен в два раза. Однако, начиная с 2021 г., резко возрос уровень солнечной активности, что повлияло на плотность верхней атмосферы Земли и привело к торможению спутника. В результате 16.04.2024 г. спутник «АИСТ-2Д» вошел в плотные слои атмосферы и прекратил свое функционирование. На протяжении всего времени работы МКА «АИСТ-2Д» показывал высокие технические характеристики, надежность и качество принятых технических решений.

В 2021 году коллектив сотрудников университета, кафедры космического машиностроения, АО «РКЦ «Прогресс» и РОСКОСМОСа был удостоен премии Правительства РФ имени Ю. А. Гагарина в области космической деятельности за работу **«Создание научно-образовательного практико-ориентированного комплекса междисциплинарных учебных**

программ и лабораторно-испытательных установок для подготовки специалистов по сквозным технологиям космического дистанционного зондирования Земли»

Лауреатами премии являются:

Сойфер Виктор Александрович, доктор технических наук, профессор, академик РАН, президент федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева»;

Аншakov Геннадий Петрович, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заместитель генерального конструктора АО «РКЦ «Прогресс», профессор кафедры космического машиностроения;

Конonenko Олег Дмитриевич, командир отряда космонавтов федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина»;

Салмин Вадим Викторович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой космического машиностроения имени генерального конструктора Д. И. Козлова Самарского национального исследовательского университета имени академика С. П. Королева, Заслуженный деятель науки Российской Федерации;

Ткаченко Иван Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры космического машиностроения Самарского национального исследовательского университета имени академика С. П. Королева, директор Института авиационной и ракетно-космической техники Самарского университета.

За последние годы кафедрой подготовлено более 2000 специалистов, работающих в ракетно-космической отрасли, в том

числе более 1000 специалистов в Ракетно-космическом центре «Прогресс».

Научная школа «Управление движением и динамика полёта летательных аппаратов»

По данному направлению осуществляются разработки моделей, методов расчёта с целью совершенствования методов проектирования управлением движения ракет-носителей, самолётоносителей, разгонных блоков, космических транспортных аппаратов, и оптимизации межпланетных схем перелётов и полётов к астероидам.

Одним из значимых представителей данного научного направления является член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор Геннадий Петрович Аншаков – специалист в области систем управления космическими комплексами зондирования Земли, теории и методов построения адаптивных автоматических систем управления космическим кораблем. Г. П. Аншаков – Лауреат Ленинской (1988) и Государственной премии СССР (1977), Герой Социалистического Труда (1983), заместитель генерального конструктора Государственного научно-производственного ракетно-космического центра «ЦСКБ-Прогресс», член Президиума Самарского научного центра РАН

Научная школа «Разработка методов и технических средств в области высокоскоростного соударения космических аппаратов с метеорными и техногенными частицами»

В 1984 году при кафедре летательных аппаратов, заведующим которой с 1980 г. по 1999 г. был член-корреспондент РАН, Генеральный конструктор ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» Д. И. Козлов, была создана отраслевая научно-исследовательская лаборатория (ОНИЛ-17), в которой в сотрудничестве с ЦСКБ проводились тео-

ретические и экспериментальные исследования соударения высокоскоростных механических частиц (ВСМЧ), разрабатывались методы, средства и способы защиты космических аппаратов и их элементов от действия метеорных и техногенных частиц. Экспериментальные исследования проводились на полигоне федерального казённого предприятия «Чапаевский механический завод».

Научное направление по высокоскоростному соударению возглавлялось заслуженным деятелем науки РФ профессором Л. Г. Лукашёвым, заместителем заведующего кафедрой летательных аппаратов. По данному направлению исследования было защищено 5 докторских и более 10 кандидатских диссертаций.

В результате экспериментальных и теоретических исследований остались многочисленные образцы и протоколы испытаний, которые могли бы служить основой для продолжения проведения научных исследований по высокоскоростному соударению.

Научная школа «Оптимизация космических перелетов с малой тягой: механика полета, управление движением, проектирование космических аппаратов с электрореактивными двигателями»

Руководителем данной научной школы является заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук профессор В. В. Салмин.

В 2014 г. научная школа «Оптимизация космических перелетов с малой тягой: механика полета, управление движением, проектирование КА с ЭРДУ» (руководитель Салмин В. В.) стала победителем конкурса на право получения гранта Президента Российской Федерации по государственной поддержке ведущих научных школ.

В 2014 г. издана в издательстве Европейской Академии Естественных Наук (Германия) монография «Solution methods for

variational problems low thrust space flight mechanics» авторов: Салмина В. В., Ишкова С. А., Стариновой О. Л.

Исследования, проводимые в рамках направления «Космическое машиностроение», получили поддержку Российского фонда фундаментальных исследований и Российского научного фонда.

О значимости данной научной школы говорит тот факт, что сотрудники кафедры космического машиностроения в 2016 г. организовали международную научно-практическую конференцию «Электроракетные двигатели. Прошлое. Настоящее. Будущее».

Программа технической конференции включала презентации по различным тематикам отрасли – от материаловедения и технологии производства до проектирования КА и его подсистем, а также разработки космических программ. Главная тема для обсуждения – электроракетные двигатели сквозь призму прошлого, настоящего и будущего; актуальные проблемы двигателестроения в России и за рубежом, а также перспективы развития космической отрасли до 2030 года.

Научная школа «Разработка методов проектирования и конструирования космических мониторинговых и транспортных систем»

На кафедре космического машиностроения разрабатываются методы расчета, проектирования и компьютерного моделирования под руководством доктора технических наук, профессора Куренкова В. И. и доктора технических наук, профессора Салмина В. В. Основные направления исследований:

- Проектирование нового класса ракет-носителей повышенной грузоподъемности для осуществления миссий к Луне, астероидам и планетам Солнечной системы;
- Проектирование многоцветных транспортных космических аппаратов с солнечными и ядерными электроракетными энерго-

двигательными установками для доставки полезных нагрузок на ГСО, орбиты спутников Луны в точки либрации;

- Проектирование космических аппаратов дистанционного зондирования Земли с оптико-электронной, радиолокационной и гиперспектральной аппаратурой (в том числе малых КА ДЗЗ, сверхнизкоорбитальных КА ДЗЗ);

- Создание малых космических аппаратов научного и прикладного назначения, нано- и пикоспутников;

- Создание околоземных космических систем ДЗЗ на основе дифракционных оптических элементов и радиолокаторов с синтезированной апертурой;

- Разработка методов обеспечения эффективности и надежности перспективных ракет-носителей сверхтяжелого класса (масса ПН на низкой опорной орбите – 125 – 150 т, масса марсианского пилотируемого экспедиционного комплекса 350 – 400 т);

- Проектирование нового поколения многоразовых космических буксиров с электроракетными двигателями и ядерной энергоустановкой для доставки полезных грузов на ГСО;

- Разработка проблемно-ориентированных компьютерных технологий синтеза проектного облика КА ДЗЗ с ОЭА, РЭА и ГСА;

- Разработка технологии транспортировки, развертывания и управления космических информационных систем нового поколения, основанных на разворачиваемых в космосе дифракционных мембранных оптических элементах.

- Компьютерные технологии создания виртуальных изделий ракетно-космической техники.

Сотрудниками кафедры космического машиностроения разработан программно-аппаратный комплекс «Проектирование мониторинговых и транспортных космических систем».

7.7 Структура научной работы

Название научной работы должно быть кратким и точно соответствовать ее содержанию.

Существует по этому поводу шуточное изречение, в котором есть доля правды: «Название должно быть таким, чтобы бы любая критика отскакивала от него, как от железобетонной плиты».

Введение к научной работе должно быть по возможности кратким и содержать:

- обоснование актуальности темы исследования;
- освещение степени разработанности данной проблемы;
- формулировку цели работы (в целом);
- основные (частные) задачи исследования;
- краткое изложение того нового, что вносится автором в исследование проблемы;
- основные положения, которые автор выносит на защиту.

Нужно приводить не многочисленные конкретные результаты, а те новые идеи, взгляды, методы с указанием их продуктивности.

Основная часть научной работы обычно содержит:

- обзор литературы по теме;
- изложение научной гипотезы;
- методику исследования;
- экспериментальную часть;
- обсуждение полученных результатов;
- заключение (выводы).

В обзоре литературы дается очерк основных этапов и переломных периодов в развитии научной мысли по своей проблеме, сжато, критически осветив работы своих предшественников, научный работник должен назвать те вопросы, которые остались нерешенными и, таким образом, определить свое место в решении проблемы.

Желательно закончить этот раздел резюме о тех научных задачах, которые автор стремится поставить и разрешить в своей научной работе.

В следующих *разделах* с исчерпывающей полнотой излагается собственное исследование автора с особенным выявлением того нового и оригинального, что он вносит в разработку проблемы.

Все мысли и положения автора должны быть обстоятельно обоснованы на базе принятой автором методики, вытекающей из сущности предмета научной работы.

Весь порядок изложения в научном труде должен быть подчинен *руководящей идее*, высказанной автором. Логичность построения и целеустремленность изложения основного содержания достигаются только тогда, когда каждый раздел содержит определенное целевое назначение и является базой для последующего раздела.

Желательно, чтобы в каждом разделе приводились *краткие выводы*. Это позволит четко сформулировать итоги каждого этапа исследования и даст возможность освободить общие выводы по работе от второстепенных деталей.

Если в научной работе заимствуются отдельные результаты или материалы, то необходимо делать ссылки на автора и источник этих результатов или материалов с указанием страниц.

При использовании идей или разработок, принадлежащих соавторам, коллективно с которыми были написаны научные работы, он обязан отметить это в примечаниях.

7.8 Финансирование научной и инновационной деятельности

Существует несколько источников финансирования научных исследований в России.

В Российской Федерации разработана Программа фундаментальных научных исследований на долгосрочный период. Программой определено, что в настоящее время основной задачей науки является научное обеспечение социально-экономического развития страны. Особое внимание при проведении фундаментальных исследований должно уделяться обеспечению национальной безопасности страны.

В рамках Программы фундаментальных научных исследований реализуются следующие мероприятия:

- фундаментальные исследования, проводимые учреждениями государственных академий наук;

- междисциплинарные фундаментальные исследования, выполняемые национальными исследовательскими центрами, и фундаментальные исследования, выполняемые в отраслевом секторе науки государственными научными центрами и ведущими научными организациями;

- фундаментальные исследования, проводимые в вузовском секторе, включающем ведущие классические университеты Российской Федерации, федеральные университеты и национальные исследовательские университеты;

- фундаментальные исследования, финансируемые государственными научными фондами (Российский фонд фундаментальных исследований, Российский гуманитарный научный фонд);

- фундаментальные исследования, осуществляемые в соответствии с отдельными актами Президента Российской Федерации и Правительства Российской Федерации.

В настоящее время в государственном секторе науки фундаментальные исследования в гражданской сфере проводятся учреждениями государственных академий наук, национальным исследовательским центром "Курчатовский институт", государственными научными центрами, научными учреждениями Мини-

стерства здравоохранения Российской Федерации, высшими учебными заведениями, в том числе Московским государственным университетом имени М. В. Ломоносова, Санкт-Петербургским государственным университетом, федеральными и национальными исследовательскими университетами.

Самарский университет, являясь национальным исследовательским университетом, активно участвует в выполнении работ, связанных с фундаментальными исследованиями.

Министерство образования и науки РФ активно финансирует развитие новых образовательных технологий и научных исследований в подведомственных университетах. За последнее время министерством был проведен целый ряд конкурсов в рамках федеральных целевых программ (ФЦП), в которых активное участие принимал и Самарский университет (до 2015 года – Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва – СГАУ).

В 2009 году в результате конкурсного отбора СГАУ одному из первых 14 высших учебных заведений России была установлена категория «национальный исследовательский университет».

Категория установлена на 10 лет, в течение которых необходимо выйти на определённые показатели, характерные для национального исследовательского университета, такие, как публикации в различных научных изданиях, оснащённость лабораторным оборудованием, инновационная деятельность, нацеленность программы на вполне определённую область науки.

Программа развития Самарского университета ориентирована на авиационно-космическую отрасль, её развитие. Отличительной чертой программы является также её нацеленность на использование информационных технологий. Перед университетом стоит ключевая задача на сегодняшний день – переход на цифровые компьютерные технологии.

В 2013 году университет стал победителем конкурса программ повышения конкурентоспособности ведущих университетов Российской Федерации среди ведущих мировых научно-образовательных центров, проведённом Министерством образования и науки РФ.

Ежегодно студенты, аспиранты Самарского университета активно участвуют в конкурсах, также проводимых при участии Минобрнауки России:

- конкурс по программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК», «УМНИК на СТАРТ»);
- конкурс «Будущее авиации за молодой Россией»;
- Всероссийский открытый конкурс на лучшую научную работу студентов вузов по естественным, техническим и гуманитарным наукам;
- Всероссийский робототехнический фестиваль «РобоФест» и др.

Самарский университет, как национальный исследовательский университет, осуществляет переход к новой концепции реализации обучения, основанной на интеграции образовательного процесса и научных исследований, а также интенсификации использования самых современных образовательных технологий.

Согласно Положению о грантовой поддержке научных исследований в Самарском университете, гранты предоставлялись на следующие цели:

- проведение исследований совместно с ведущими учёными, в рамках соглашений с университетами-партнерами, в интересах высокотехнологичных предприятий;
- подготовка и публикация научных материалов в изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science;
- представление результатов научных исследований на конференциях, симпозиумах, семинарах, форумах, заседаниях ассоциаций и др.;

- оплату обучения по модулям образовательных программам высшего профессионального образования и дополнительного образования, участия в школах и мастер-классах, других форм обучения и переподготовки;
- участие в международных олимпиадах, конкурсах и соревнованиях;
- участие в выставках, промо-турах и промо-акциях, роуд-шоу, показательных выступлениях и презентациях, а также их организацию;
- изготовление промышленного образца, макета, модели, медиа-ресурсов;
- реализация проектов по продвижению Самарского университета.

Правительство Самарской области ежегодно объявляет приём заявок на участие в конкурсе на назначение денежных выплат молодым ученым и конструкторам (постановление Правительства Самарской области от 07.05.2015 № 244 и Порядок назначения денежных выплат молодым ученым и конструкторам, работающим в Самарской области и выполняющим научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по приоритетным для Самарской области направлениям развития науки, технологий и техники).

Участниками конкурса могут быть молодые ученые и конструкторы, которым в год проведения конкурса исполняется не более 35 лет, проживающие на территории Самарской области и имеющие трудовые отношения с расположенными в Самарской области организациями любых организационно-правовых форм и форм собственности, выполняющими научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по приоритетным для Самарской области направлениям развития науки, технологий и техники.

Министерство образования и науки Самарской области ежегодно объявляет областной конкурс «Молодой ученый». Головной

организацией по проведению конкурса на протяжении более 10 лет является Самарский университет.

Конкурсная работа должна отвечать следующим требованиям:

- научная новизна;
- актуальность в плане решения проблем научно-технического и социально-экономического развития Самарской области;

- научная и практическая значимость для дальнейшего развития научных школ Самарской области.

В 2009 году учреждены:

- именная стипендия имени Д.И. Козлова (5 стипендий на год по 2000 рублей в месяц для обучающихся, ведущих аэрокосмические научные изыскания);

- областная премия имени Д.И. Козлова (изменена с 2012 года – 20 премий по 52 000 рублей для обучающихся, ведущих аэрокосмические изыскания).

За последние десять лет учреждены:

- поощрение Губернатора Самарской области для победителей и призёров всероссийских и международных предметных олимпиад, конкурсов, фестивалей;

- повышенная государственная академическая стипендия (10 % студентов, сдавших сессию на стипендию, получили возможность дополнительно получать ПГАС);

- аэрокосмическая стипендия Губернатора Самарской области (200 стипендий по 10800 рублей единовременной выплаты по итогам каждого семестра);

- приоритетные стипендии Президента РФ и Правительства РФ.

- стипендия Альфа-Шанс для студентов двух факультетов (10 стипендий на два года по 5 тысяч в месяц для студентов 1-2 курсов);

– стипендия имени Н.Д. Кузнецова для обучающихся двигателестроительных специальностей (10 стипендий на год с единовременной выплатой в 50 000 тысяч рублей);

– грантовая программа для победителей Всероссийской олимпиады школьников (стипендия в 20 000 рублей в месяц на всё время обучения в вузе);

– именная стипендия имени Ю.А. Гагарина (3 стипендии на Россию на год по 10 000 рублей в месяц).

Фонд содействия инновациям. Программа УМНИК. Принимать участие в конкурсе по данной программе могут физические лица, от 18 до 30 лет включительно, являющиеся гражданами РФ, и ранее не побеждавшие в программе.

Параметры поддержки:

– размер гранта – 500 тыс. рублей;

– срок выполнения НИР – не более 24 месяцев (2 этапа по 12 месяцев);

– направление расходов – проведение НИР.

Ожидаемые результаты:

– подана заявка на регистрацию прав на результаты интеллектуальной деятельности (далее – РИД), созданные в рамках выполнения НИР;

– разработан бизнес-план инновационного проекта;

– обеспечено развитие проекта в части коммерциализации результатов НИР (подана заявка в программу «Старт»; либо зарегистрировано малое инновационное предприятие в соответствии с №209-ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в РФ» от 24.07.2007 г. с долевым участием заявителя не менее 50%; либо подписано лицензионное соглашение о возмездной передаче прав на РИД, созданные в рамках выполнения НИР).

Фонд содействия инновациям. Программа СТАРТ. Программа направлена на создание новых и поддержку существующих малых инновационных предприятий, стремящихся разработать и освоить производство нового товара, изделия, технологии или услуги с использованием результатов собственных научно-технических и технологических исследований, находящихся на начальной стадии развития и имеющих значительный потенциал коммерциализации.

Принимать участие в конкурсе по данной программе могут физические лица – при условии, что они одновременно не принимают участие (выступать руководителем предприятия, научным руководителем проекта) в других проектах, финансируемых Фондом. В случае победы в конкурсе потребуются создание юридического лица.

Программа реализуется в 3 этапа:

- 1-й этап Программы (конкурс «Старт-1»);
- 2-й этап Программы (конкурс «Старт-2»);
- 3-й этап Программы (конкурс «Старт-3»).

Альтернативой конкурсу «Старт-3» является программа «Бизнес-Старт», которая направлена на коммерциализацию результатов НИОКР, полученных в рамках выполнения контрактов по конкурсу «Старт-2» (аналог программы «Коммерциализация» для участников программы «Старт»).

8 ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ КАФЕДРЫ И НИИ КОСМИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

8.1 Основные направления деятельности кафедры и НИИ космического машиностроения

Кафедра в силу специфики своей деятельности, связанной с учебным процессом, передачей знаний молодежи и развития перспективных научных исследований в области космических технологий, занимается следующими вопросами:

- выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на создание новых высокоэффективных образцов ракетно-космической техники;
- развитие космических исследований и использование их результатов в интересах социально-экономического развития региона.

Перспективы открывает и проект создания многоуровневой глобальной университетской аэрокосмической системы. Она предназначена для мониторинга земной поверхности и атмосферы, исследований в области глобальных климатических проблем, проведения фундаментальных научных и технологических экспериментов на борту аппаратов.

Наиболее актуальной на сегодняшний день задачей является участие кафедры в проектировании конструкций перспективного РН «Союз-5» и ракеты-носителя сверхтяжёлого класса, а также разработка предложений и рекомендаций, направленных на повышение эффективности, надёжности и живучести изделий ракетно-космической техники.

Развитие транспортных космических систем в ближайшее десятилетие очевидно будет связано использованием электрореактивных двигателей нового типа с улучшенными характеристиками

для реализации межорбитальных транспортных перелётов в околоземном космическом пространстве, а также для осуществления полётов к планетам Солнечной системы.

8.2 Основные научно-технические разработки НИИ космического машиностроения

8.2.1 НИОКР «Проектирование, создание и эксплуатация группировки малых космических аппаратов «АИСТ» на орбите»

- Срок активного существования МКА – до 3 лет;
- МКА совершает неориентированный полет;
- Масса МКА с адаптером – 53 кг;
- 2 приемника 145 МГц;
- 2 передатчика 435 МГц.



Рис. 8.1. Размещение МКА «АИСТ» на борту КА «БИОН-М» [14]



Рис. 8.2. Старт КА «Бион-М» совместно с МКА «АИСТ» №1, космодром Байконур 19.04.2013 г. – РН «Союз -2.1б» [14]



Рис. 8.3. Старт МКА «АИСТ» №2, космодром Плесецк 28.12.2013 г., РН «Союз – 2.1в» с БВ «Волга» [14]



Рис. 8.4. Трассы МКА «АИСТ» №1, «АИСТ» №2
(данные системы NORAD) [14]

Начальные параметры рабочей орбиты МКА «АИСТ» № 1
(19.04.2013):

- околоруговая $H_{KP} = 575$ км;
- наклонение $i = 64,9^\circ$.

Начальные параметры рабочей орбиты МКА «АИСТ» № 2
(28.12.2013):

- околоруговая $H_{KP} = 625$ км;
- наклонение $i = 82,4^\circ$.

8.2.2 НИОКР «Разработка унифицированной маломассогабаритной космической платформы для создания малых космических аппаратов различного целевого назначения»

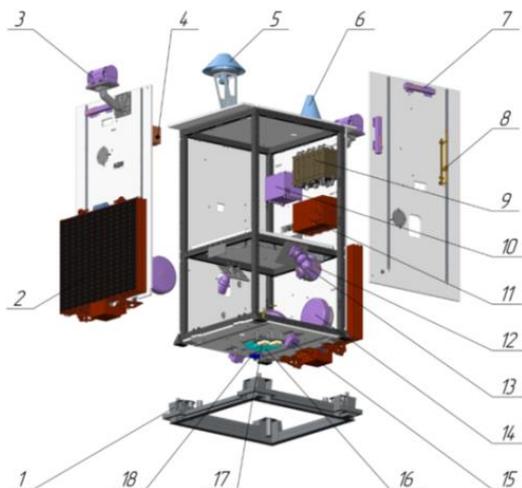


Рис. 8.5. Основа платформы – малый космический аппарат дистанционного зондирования Земли «АИСТ-2Д» (запуск осуществлен 28.04.2016 г.):
1 – устройство отделения, 2 – СБ, 3 – ПОЗ, 4 – Моноблок БСКУ, 5 – антенна РПЦИ, 6 – передающее антенное устройство БСКУ, 7 – ЭМ, 8 – приёмное антенное устройство БСКУ, 9 – БАКУР, 10 – АБ, 11 – УМВС, 12 – ОИУС, 13 – ОГ, 14 – ДМ, 15 – ОСД, 16 – передающее антенное устройство БСКУ, 17 – НАП, 18 – УФ [15]

8.2.3 НИОКР «Разработка проектного облика и методики построения опытно-технологического МКА наблюдения для проведения научно-технологических экспериментов»

Задачи проекта:

- отработка целевой аппаратуры, университетских наземных средств управления, приёма и обработки информации, а также

методов обработки информации дистанционного зондирования Земли высокого разрешения (аппаратура «Скворец – 4М»);

- обработка технологии получения и передачи видеoinформации с борта малого космического аппарата;
- обработка системы контроля радиационной обстановки в космическом пространстве с использованием дозиметров разработки Института медико-биологических проблем РАН;
- обработка аппаратуры автоматической идентификации судов разработки Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

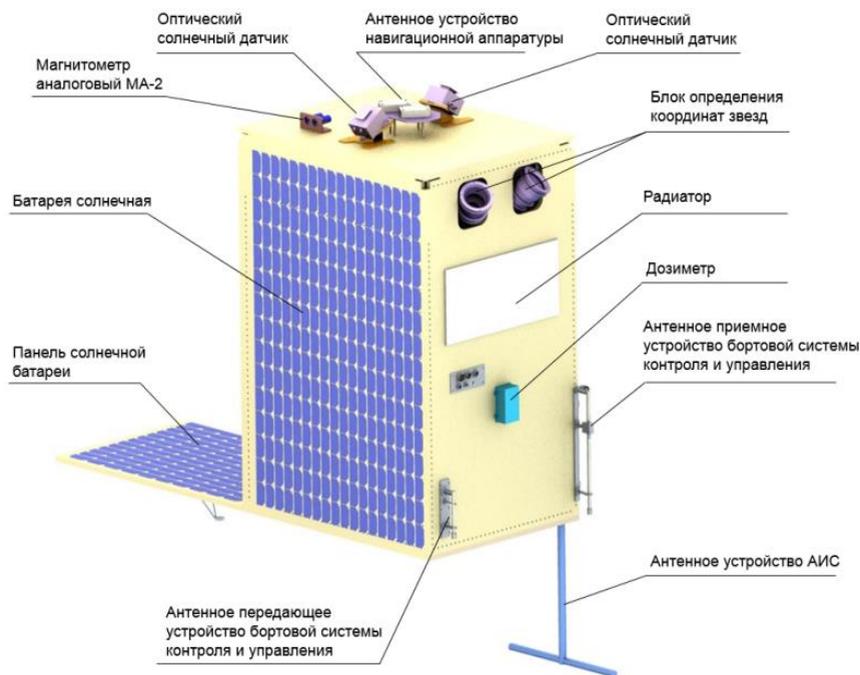


Рис. 8.6. Проектный облик опытно-технологического МКА наблюдения [15]

8.2.4 НИОКР «Создание многоуровневой глобальной университетской аэрокосмической системы»

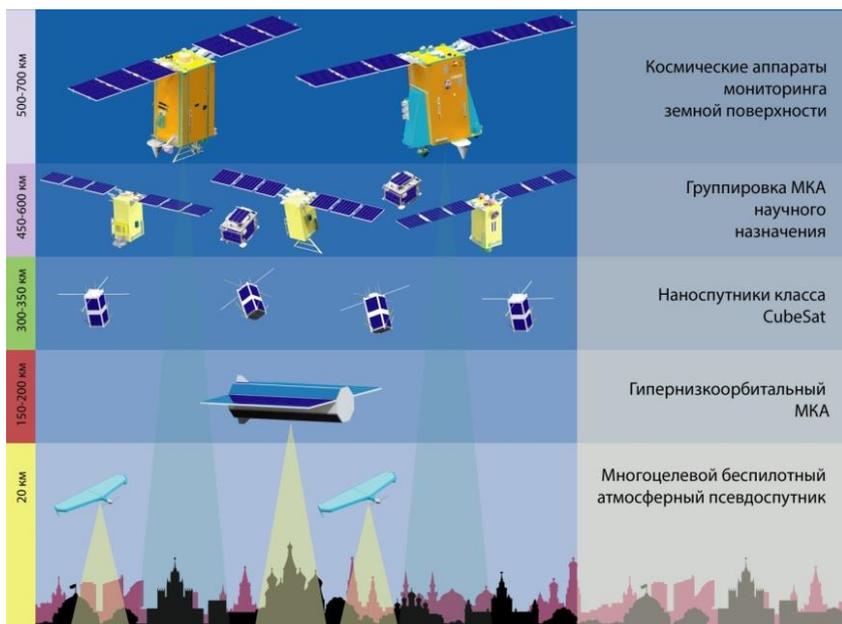


Рис. 8.7. Многоуровневая глобальная университетская аэрокосмическая система [15]

Задачи проекта:

- мониторинг земной поверхности и атмосферы, исследования в области глобальных климатических проблем;
- проведение фундаментальных научных и технологических экспериментов на борту аппаратов;
- дистанционное образование и др.

Объекты разработки:

- низкоорбитальный космический аппарат, функционирующий на высотах до 250 км, предназначенный для дистанционного

зондирования Земли, картографирования и построения высокоточной модели гравитационного поля;

- унифицированная платформа малых маневрирующих космических аппаратов дистанционного зондирования Земли, оснащенных электроракетной двигательной установкой и функционирующих на орбитах 450-550 км;

- унифицированная платформа малоразмерных космических аппаратов микро-класса, функционирующих на высотах 450-650 км, предназначенных для проведения научно-образовательных и технологических экспериментов в космосе.

8.2.5 НИОКР «Разработка технологии транспортировки, развертывания и управления информационной космической системы на базе большой дифракционной мембраны на геостационарной орбите»

Исходные данные:

1. Орбита функционирования – геостационарная.
2. Оптическая система на основе дифракционных линз (дифракционные мембраны).
3. Возможность постоянного наблюдения за объектом.
4. Баллистическая схема выведения данного КА на геостационарную орбиту предполагает использование ЭРД.

Результаты работы:

- показана принципиальная возможность использования дифракционных оптических элементов на основе мембран в оптической схеме телескопа, функционирующего на геостационарной орбите;
- разработана силовая схема конструкции КА (оформлен патент);

- предложена оболочно-кольцевая конфигурация бленд;
- разработаны два программных обеспечения (оформлены свидетельства регистрации программы для ЭВМ).

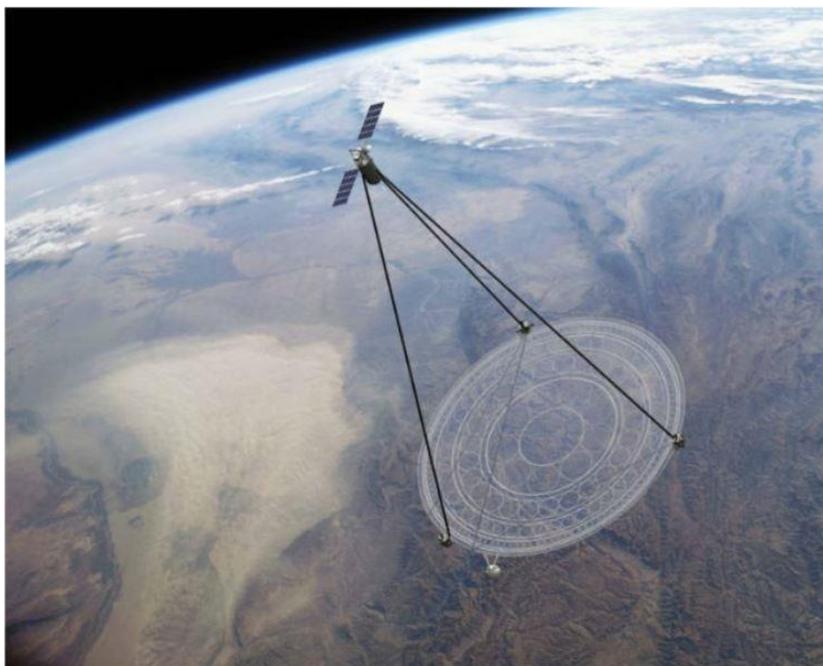


Рис. 8.8. Проект КА с мембранной оптической системой [15]

8.2.6 НИОКР «Разработка технологий нисходящего проектирования, конструирования и наземной экспериментальной отработки перспективных космических средств дистанционного зондирования Земли с увеличенным сроком функционирования и комбинированных блоков выведения тяжелых полезных нагрузок на геостационарную орбиту ракетами-носителями среднего класса семейства «Союз-2»»

Разработка эскизных проектов изделий
 Наземная экспериментальная отработка изделий
 Разработка электронных моделей изделий
 Наземная экспериментальная отработка изделий

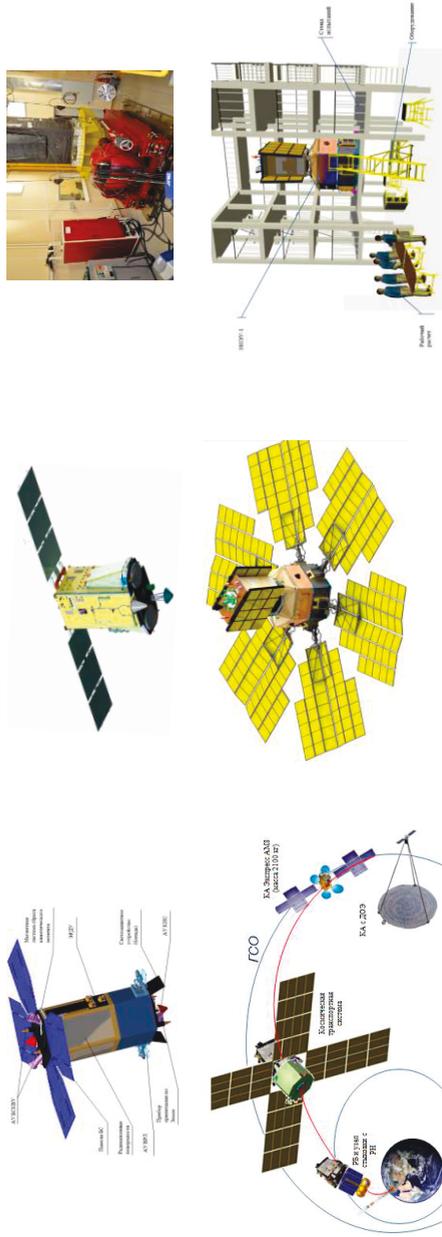


Рис. 8.9. Иллюстрация технологий нисходящего проектирования [15]

8.2.7 НИОКР «Разработка методики определения области допустимых проектных параметров КА с увеличенным сроком активного функционирования, входящего в КС глобального наблюдения»

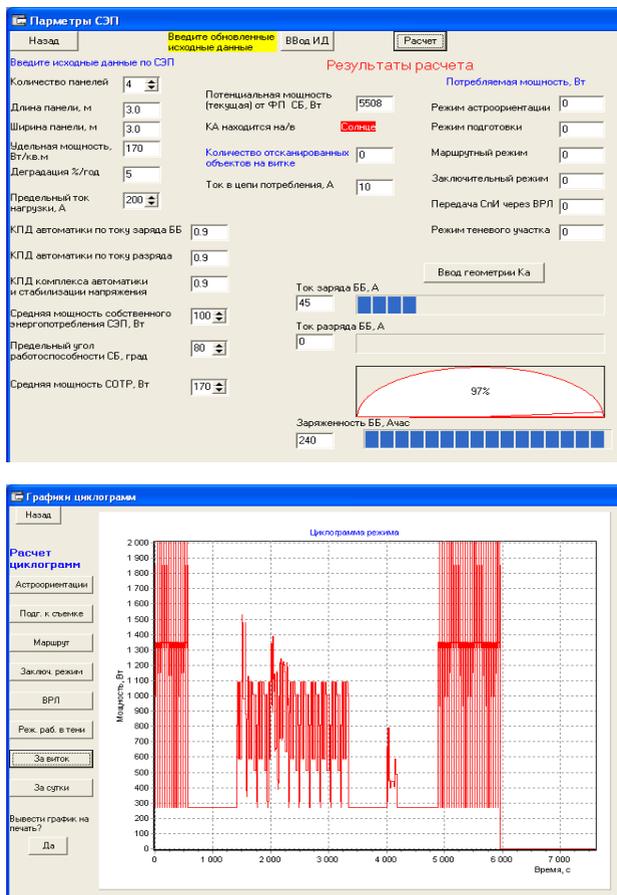


Рис. 8.10. Рабочие окна программного обеспечения [14]

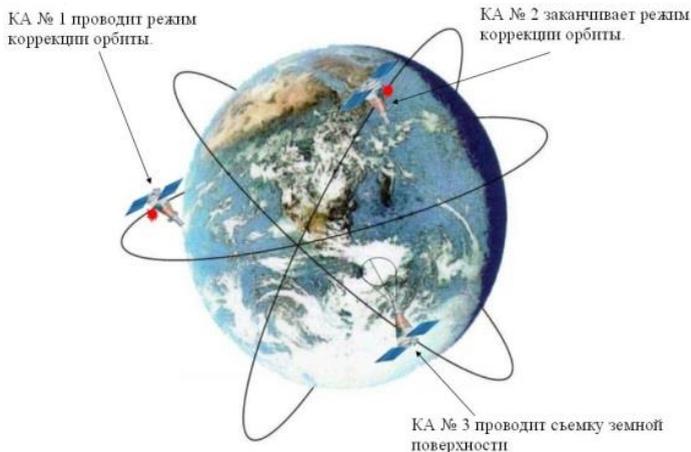


Рис. 8.11. Космическая система мониторинга [14]

8.2.8 НИОКР «Анализ динамических характеристик звеньев контура продольной устойчивости движения РН, исследование характеристик устойчивости с учетом упругости конструкции и жидкого наполнения баков»

Результаты работы:

- разработана методика анализа динамических свойств РН в каналах стабилизации;
- разработана программа расчета АЧХ и ФЧХ основных звеньев контуров стабилизации движения и областей устойчивости движения РН;
- разработана методика определения АдХ РН на основании ТМ данных натурных испытаний;
- разработаны программы расчета и формирования требований к основным элементам конструкции и компоновке РН с целью обеспечения устойчивого движения;

– разработаны методы формирования запасов устойчивости с учётом нелинейных элементов в контуре управления и перекрёстных связей между каналами стабилизации.

– разработана программа оценки устойчивости движения РН с учётом нелинейных элементов в контуре управления и перекрёстных связей между каналами стабилизации.

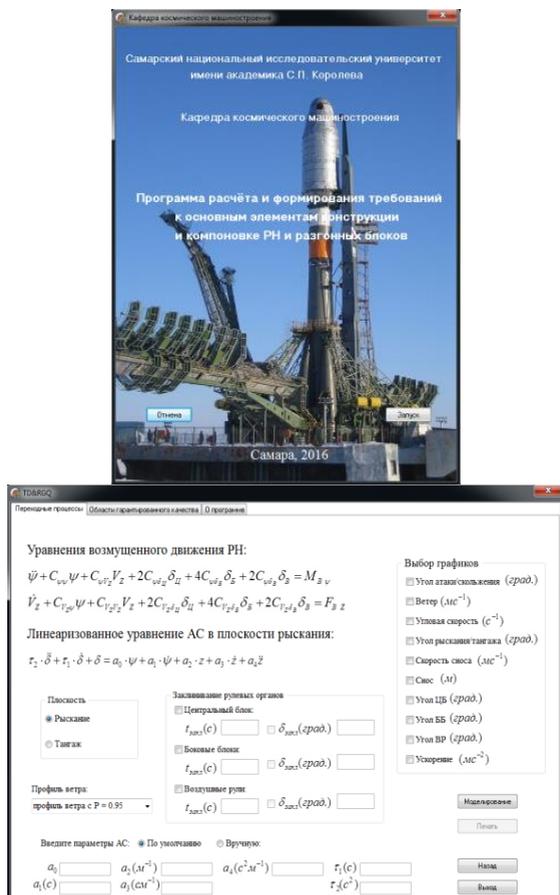


Рис. 8.12. Рабочие окна программного обеспечения [15]

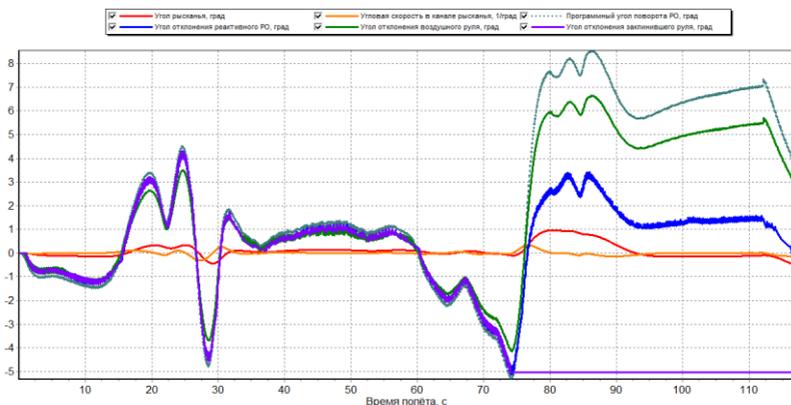


Рис. 8.13. Параметры движения РКН в канале рыскания при заклинивании одного реактивного УО на 74 с полёта [15]

8.2.9 НИОКР «Разработка методики проектирования низкоорбитальных космических аппаратов, предназначенных для цифрового картографирования»

Результаты работы:

- методика по определению оптимальных массовых, энергетических и геометрических параметров КА со сроком активного существования в условиях космического пространства на заданной орбите не менее 7 лет;
- алгоритмы формирования технических требований к проектным характеристикам обеспечивающих бортовых систем низкоорбитального КА, выполняющего задачу картографирования земли при длительном сроке активного функционирования;
- методика автоматизированного формирования конструктивно-компоновочной схемы низкоорбитального КА, выполняющего задачу картографирования земли.

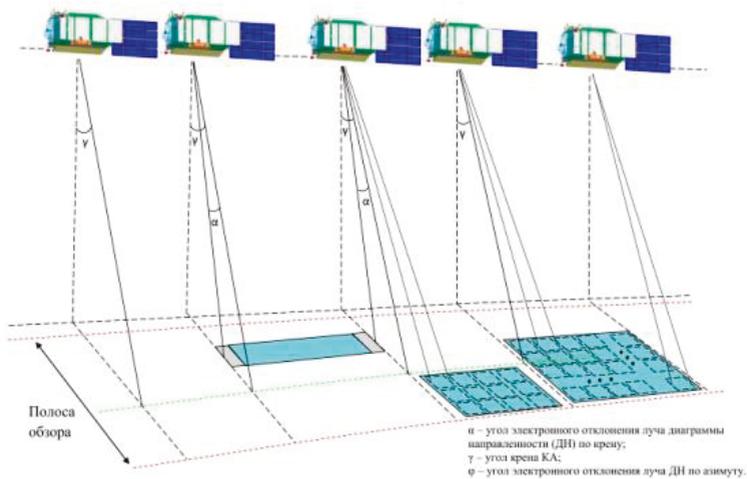


Рис. 8.14. Схема съемки в узкополосном маршрутном, маршрутном и широкополосном маршрутном режимах [15]



Рис. 8.15. Проектный облик низкоорбитального КА ДЗЗ [14]

8.2.10 НИОКР «Разработка методики расчета динамических процессов разделения и отделения крупногабаритных конструкций РН типа ГО, ХО с использованием конечно-элементных моделей конструкций»

Результаты работы:

- разработана подробная упруго-массовая конечно-элементная модель силовых и каркасных элементов разделяемых конструкции III-й ступени РН «Союз» в среде пакета прикладных программ MSC.Patran/NASTRAN;

- разработана методика проведения расчетных работ по моделированию движения отделяемых элементов конструкции РН. Методика основана на конечно-элементном моделировании в системе MSC.Patran/NASTRAN;

- проведено моделирование процесса отделения головного обтекателя и сброса оболочки хвостового отсека III-й ступени от ракеты-носителя «Союз».

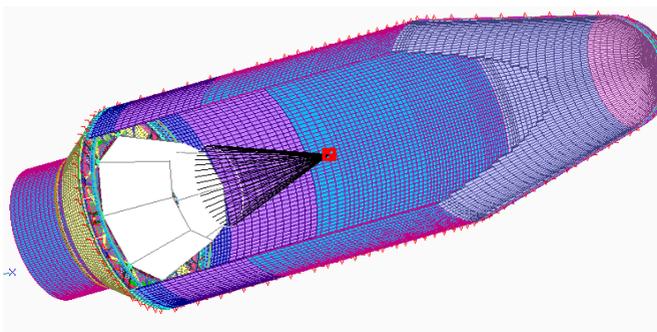


Рис. 8.16. КЭ-модель головного блока РН с вырезом оболочки обтекателя [15]

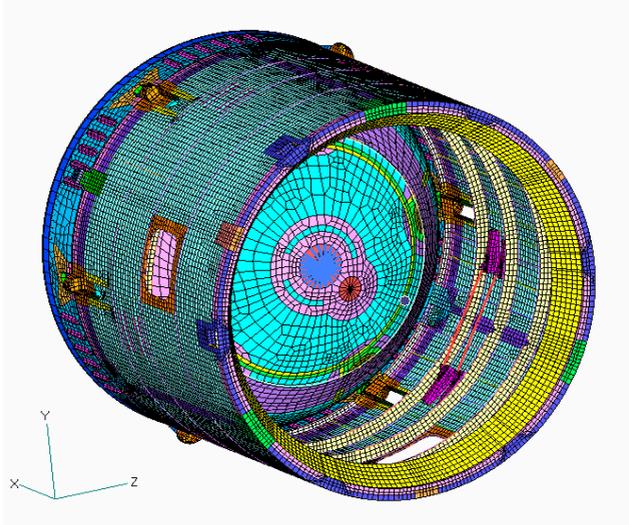


Рис. 8.17. КЭ-модель конструкции блока хвостового отсека [15]

8.2.11 НИОКР «Разработка программно-аппаратного комплекса «Проектирование мониторинговых и транспортных космических систем»

Модули программно-аппаратного комплекса:

- 1) программное обеспечение для выбора проектных характеристик и конструктивного облика ракет-носителей;
- 2) программное обеспечение для проектирования космических аппаратов дистанционного зондирования Земли;
- 3) программное обеспечение для выбора проектных характеристик электрореактивного энергодвигательного модуля низкоорбитального космического аппарата наблюдения с длительным сроком существования;
- 4) программное обеспечение для проектно-баллистической оптимизации транспортных космических аппаратов;
- 5) Программное обеспечение для проектно-баллистической оптимизации транспортных космических аппаратов с использова-

нием химического разгонного блока и электроракетной двигательной установки;

б) программное обеспечение для моделирования селеноцентрического движения транспортных космических аппаратов с электроракетной двигательной установкой;

7) программное обеспечение для моделирования орбитального движения космического аппарата.

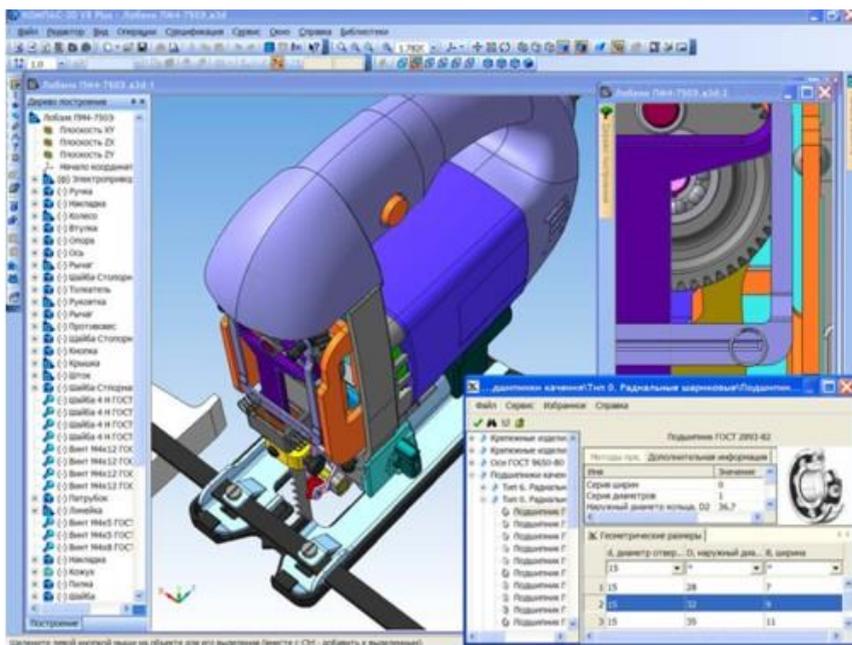


Рис. 8.18. Рабочее окно программно-аппаратного комплекса [15]



Рис. 8.19. Разработка твердотельной модели ракеты [15]



Рис. 8.20. Анимационная картина полета РН [15]

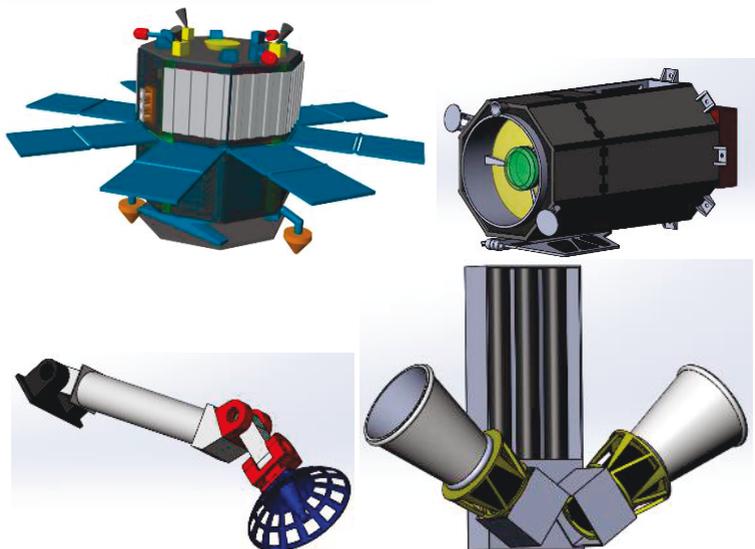


Рис. 8.21. Проектный облик и элементы конструкции КА ДЗЗ [15]

8.2.12 НИОКР «Создание центра превосходства по прорывному направлению научной деятельности – космическое машиностроение»

Планируемые научные исследования на базе центра:

- построение 3D-моделей магнитного поля Земли на орбитах до 600 км;
- создание пространственных карт микрометеоритной обстановки на низких околоземных орбитах;
- навигационно-баллистическое сопровождение полета группировки малых КА;
- исследование влияния космической радиации на процессы деградации элементов солнечных батарей на основе GaAs;
- исследование процессов ориентации и стабилизации малых КА с помощью магнитометров.

Планируемая результативность центра:

- прием на стажировки и обучение иностранных магистрантов и студентов (КНР, Индия, Мьянма);
- доклады на международных конференциях;
- публикации в международных цитируемых журналах.



Рис. 8.22. Малый космический аппарат «АИСТ-2» [14]

Таблица 8.1. Университетские малые спутники России

ВУЗ	Малый КА	Запуск	Функционирование	Группировка	ЦУП
МАИ	МАК-1, МАК-2	1991 г., 1992 г.	нет	нет	2008 г.
ВКА им. А. Ф. Можайского	Можаяец-2, Можаяец-3, Можаяец-4, Можаяец-5	1997 г., 2002 г., 2003 г., 2005 г.	нет	нет	2000 г.
МГУ	Университетский-Татьяна	2005 г.	нет	нет	2009 г.
	Университетский-Татьяна-2	2009 г.	нет		
МГТУ	Бауманец	2006 г.	нет	нет	2006 г.
УГАТУ	УГАТУ-САТ	2009 г.	нет	нет	2009 г.
СИБГАУ	Юбилейный	2008 г.	нет	нет	2008 г.
Самарский университет	АИСТ №1	2013 г.	да	да	2014 г.
	АИСТ №2	2013 г.	да		2016
	АИСТ 2Д	2016 г.	да		

8.3 Проект создания и развития молодежного экспериментального космического конструкторского бюро на базе СГАУ

Цель создания молодежного экспериментального космического конструкторского бюро – **повышение эффективности** проектно-конструкторской деятельности в части **сокращения времени и ресурсов** на разработку и проектирование перспективных образцов ракетно-космической техники, а также **внедрения** в производство **новейших конструкторских разработок**, технологий и решений, путем **привлечения молодой талантливой** активной молодежи, способной творчески мыслить и принимать нестандартные решения.

Задачи КБ:

- проектирование **новых образцов современной ракетно-космической техники** на базе последних достижений в области космической науки и технологий;
- проведение **опытно-конструкторских работ** по перспективным тематикам, связанным созданием космической техники;
- **внедрение передовых технологических и конструкторских решений** в практическую деятельность российских предприятий ракетно-космической промышленности;
- формирование **кадрового резерва** молодых высококвалифицированных инженеров-конструкторов, а также грамотных управленцев комплексными инженерно-техническими проектами.

Система связи КБ с учебным процессом



Проекты, разрабатываемые молодежным коллективом кафедры [15]



Рис. 8.23. МКА микро-класса для проведения медико-биологических экспериментов в условиях низкого уровня микрогравитации

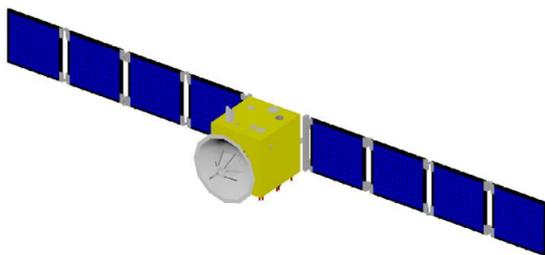


Рис. 8.24. МКА, оснащенный электрореактивными двигателями, для исследований дальнего космоса, в том числе астероидов

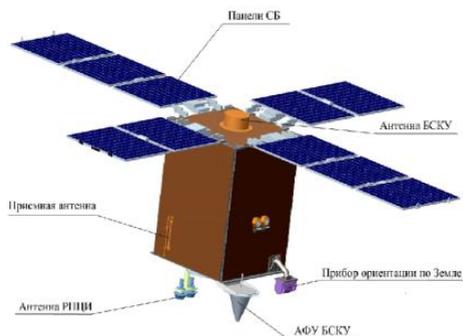


Рис. 8.25. Модернизированный МКА серии «АИСТ-2», оснащенный электрореактивной двигательной установкой

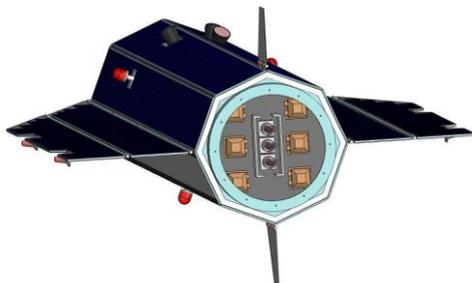


Рис. 8.26. Малый низкоорбитальный космический аппарат, предназначенный для высокоточного построения гравитационной модели Земли

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарев, А. Б. Методология научных исследований: учебное пособие / А. Б. Пономарев, Э. А. Пикулева. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. ун-та, 2014. – 186 с.

2. Основы синтеза систем летательных аппаратов / А. А. Лебедев, Г. Г. Аджимамудов, В. Н. Баранов [и др.]. – 2-е изд., доп. и перераб. – Москва: Изд-во МАИ, 1996. – 444 с.

3. Спутниковые системы мониторинга. Анализ, синтез и управление / В. В. Малышев, М. Н. Красильщиков, В. Т. Бобронников [и др.]; под ред. В. В. Малышева. – М.: Изд-во МАИ, 2000. – 568 с.

4. Мостовой, Я. А. Управление сложными техническими системами: конструирование программного обеспечения спутников ДЗЗ: монография / Я. А. Мостовой. – Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2016. – 352 с.

5. Пиявский, С. А. Новые методы принятия многокритериальных решений в цифровой сфере / С. А. Пиявский, В. В. Малышев. – Москва: Наука, 2022. – 391 с.

6. Фортескью, П. Разработка систем космических аппаратов / П. Фортескью, Г. Суинерд, Д. Старк; пер. с англ. – Москва: Интеллектуальная Литература, 2021. – 764 с.

7. Козлов, Д. И. Управление космическими аппаратами зондирования Земли: Компьютерные технологии / Д. И. Козлов, Г. П. Аншаков, Я. А. Мостовой, А. В. Соллогуб. – Москва: Машиностроение, 1998. – 368 с.

8. Салмин, В. В. Методы системного анализа и исследования операций в задачах проектирования летательных аппаратов: учебное пособие / В. В. Салмин, А. В. Кучеров, О. Л. Старинова, А. Г. Прохоров. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. – 272 с.

9. Медведев, А. А. Инновационные подходы при создании ракетно-космической техники. Унификация как проектный параметр управления эффективностью: монография / А. А. Медведев. – 2-е изд. – Москва: Изд-во «Доброе слово и Ко», 2020. – 400 с.
10. Сердюк, В. К. Проектирование средств выведения космических аппаратов: учебное пособие для вузов / под ред. А. А. Медведева. – Москва: Машиностроение, 2009. – 504 с.
11. Лебедев, А. А. Курс системного анализа / А. А. Лебедев. – Москва: Машиностроение, 2010. – 254 с.
12. Капица, П. Л. Эксперимент, теория, практика: статьи, выступления / П. Л. Капица; [Предисл. А. С. Боровика-Романова]. – 3-е изд., доп. – Москва: Наука, 1981. – 495 с.
13. Баллистические ракеты и ракеты-носители: учебное пособие для вузов / О. М. Алифанов, А. Н. Андреев, В. Н. Гуцин [и др.]; ред. О. М. Алифанов. – Москва: Дрофа, 2004. – 511 с.
14. Опытнo-технологический малый космический аппарат «АИСТ-2Д» / А. Н. Кирилин, Р. Н. Ахметов, Е. В. Шахматов [и др.]. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2017. – 324 с.
15. Современные подходы к созданию малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли на базе унифицированных платформ: монография / С. Л. Сафронов [и др.]; под ред. засл. деятеля науки РФ, д-ра техн. наук, проф. В. В. Салмина. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2019. – 276 с.

Учебное издание

*Салмин Вадим Викторович,
Куренков Владимир Иванович,
Прохоров Александр Георгиевич*

**ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Учебное пособие

Редакционно-издательская обработка
издательства Самарского университета

Подписано в печать 06.06.2024. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печ. л. 16,25.

Тираж 50 экз. Заказ № .

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

Издательство Самарского университета
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

